PRIMI RUDIMENTI

DI

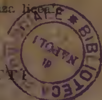
MECCANICA E FISICA

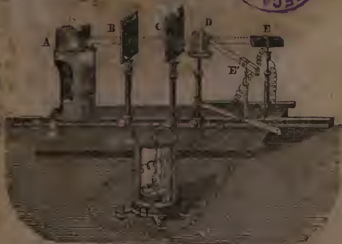
AD USO

dei candidati alla licenza liceale

PER

M. ZAN[illegible]OTTI





NAPOLI
LIBRERIA EDITRICE DI D[illegible]
Strada di Chiaia, [illegible]
1871

Prezzo Lire 5.

PRIMI RUDIMENTI

DI

MECCANICA E FISICA



Tipografia A. Trani.

PRIMI RUDIMENTI

DI

MECCANICA E FISICA

AD USO

dei candidati alla licenza liceale

PER

M. ZANNOTTI

Prof. di Fisica Matematica nella R. Università di Napoli, e di Fisica Sperimentale nella Regia Scuola di Marina; Socio Ordinario del R. Istituto d'Incoraggiamento alle Scienze Naturali, Socio corrispondente della R. Accademia delle Scienze e Socio Residente dell'Accademia Pontaniana.



NAPOLI
LIBRERIA EDITRICE DI DURA
Strada di Chiaia, 10
1871

PREFAZIONE

Invitato, or son due anni, a dare un corso di lezioni di Fisica ad alcuni giovanetti che facevano studii liceali, non volli adottare verun libro di testo, e mi addossai il non lieve incarico di scrivere le lezioni a mano a mano che io le andava facendo, affinchè si fossero trovate sempre di quella giusta misura che alla loro tenera età si addiceva. Il risultato superò di molto la mia aspettazione, imperocchè io vidi che quei giovanetti apprendevano facilmente le cose che io andava loro insegnando, e pel chiaro concetto che se ne facevano, le conservavano bene impresse nella loro memoria. Da ciò trassi conforto a durare in un lavoro, la cui grande difficoltà può esser valutata da coloro soltanto che ne han fatto la prova. Così ebbe origine la presente operetta, che ora do alla stampa col pieno convincimento di far cosa utile all'insegnamento liceale.

Tranne l'uso delle proporzioni, che ben di rado vi si trova, e qualche raro accenno ad elementarissimi teoremi geometrici, di Matematica in questa operetta non vi è assolutamente altro; e se diversamente avessi fatto, scommetto che l'editore non avrebbe potuto cavarne le spese della stampa. Tra gli studii prescritti dal Rego-

lamento liceale vi è quello della Matematica elementare; ma il Regolamento impone poi al professore di Fisica l'obbligo di doverne far uso nell'insegnamento di questa scienza? Una volta volevamo collo studio della Matematica *quadrar* la mente, ma oggi siamo più discreti, ci contentiamo di procurarle un pò di *ginnastica*.

Ho detto che in questa operetta ci è quasi niente di Matematica; ma non creda poi il lettore che io per ragione di facilità mi avessi preso la licenza di sconciare la Logica. Quella verità fisica, che vuol essere matematicamente dimostrata, è impossibile che lo sia diversamente; e perciò tutte le volte che non mi è riuscito di poterla presentare come un dato di esperienza, mi sono limitato a darne il semplice enunciato. E così facendo ho creduto di far due cose buone; la prima, di non guastare la mente del lettore col presentarle certe dimostrazioni che non meritano questo nome; la seconda, di fargli continuamente toccar con mano quanta sia la necessità della Matematica nello studio della Fisica.

L'Autore

INDICE.

Prefazione. . . . . pag. v

INTRODUZIONE.

I. Fenomeni e forze — Fenomeni in generale — Fenomeni fisici — Fenomeni chimici — Inerzia — Forze — Forze impulsive — Forze continue . . . . . » 1

II. I corpi e le forze molecolari — L'estensione — L'impenetrabilità — La porosità — La divisibilità — Le molecole e gli atomi — I corpi semplici ed i composti — La coesione — L'adesione — La ripulsione termica — L'affinità chimica . . . . » 3

MECCANICA E GRAVITÀ.

I. Il moto e le forze in generale — Moto rettilineo — Moto uniforme — Misura delle forze — Moto vario — Libera discesa dei gravi nel vuoto . . . . » 13

II. Composizione delle forze concorrenti in un punto — Parallelogrammo delle forze — Composizione di un numero qualunque di forze concorrenti in un punto — Scomposizione di una forza in altre — Via dei projetti nel vuoto . . . . » 21

III. Composizione delle forze parallele — Risultante di due forze parallele — Risultante di un numero qualunque di forze parallele — Centro di esse — Momento di una forza — Momento di una coppia . . . . pag. 29
IV. Centro di gravità — Direzione della gravità — La gravità è indipendente dalla natura dei corpi — Esistenza di un centro di gravità — Equilibrio dei gravi sospesi o sostenuti — Diverse specie di equilibrio . . . . » 36
V. Discesa dei gravi per piani inclinati e per archi di curva — Forza che sollecita un grave per un piano inclinato — Discesa dei gravi per linee curve — Il pendolo — Dipendenza della durata di oscillazione dalla lunghezza del pendolo — Isocronismo delle piccole oscillazioni — Pendolo semplice e composto — Misura della gravità. . . . . » 43
VI. Variazione della forza di gravità — Variazione della gravità secondo la latitudine — Produzione della forza centrifuga — Spiegazione del fatto osservato da Richer — Cagione della depressione polare — Sperimento di Foucault — Variazione della gravità secondo l'altezza del punto di osservazione . . . . . » 52
VII. Della leva — Diverse specie di leve — Equilibrio nella leva — Bilancia — Asse nella ruota — Puleggia. . . . . » 61
VIII. Il piano inclinato — la vite — il cuneo . . » 68
IX. Equilibrio dei liquidi — Superficie di livello — Principio di egual pressione — Principio di Archimede — Equilibrio delle mescolanze dei liquidi — Equilibrio dei galleggianti — Misura delle densità — Areometri — Peso specifico — Misura dei volumi — Pressione su i fondi dei recipienti — Paradosso idrostatico — Torchio idraulico — Pressione sulle pareti laterali — Vasi comunicanti — Fenomeni capillari . . » 73
X. Pressione atmosferica — Tromba aspirante — Sperimento di Torricelli — Pressione dell'aria sul corpo umano — Barometro — Correzioni delle osservazioni barometriche — Effetti dinamici della pressione atmosferica — Legge di Mariotte — Estensione di essa. » 89
XI. Macchina pneumatica — Descrizione della macchina pneumatica — Sperimenti pneumatici — Peso dell'unità di volume dell'aria — Misura della densità dei gas . . . . » 100
XII. Equilibrio degli aeriformi nelle loro mescolanze — Diffusione — Natura dell'atmosfera terrestre. . » 105

ACUSTICA.

I. Produzione e conduzione del suono — Natura del suono — Modo di trasmissione — Forma dell'onda sonora — Misura della celerità del suono . . . . . pag. 109
II. Riflessione e rifrazione del suono — Riflessione del suono — Prova sperimentale — Eco — Cagioni che fanno udire a maggiori distanze i suoni notturni — Rifrazione del suono — Indice di rifrazione . . . » 116
III. Risonanza — Definizione — Casse sonore — Sperimento di Wheatstone — Condizioni della risonanza — Fiamme sonore . . . . » 124
IV. Suoni musicali — Fonografia — Numerazione delle vibrazioni — Lunghezza dell'onda sonora — Scala musicale — Leggi delle vibrazioni delle corde — Vibrazioni longitudinali e trasversali — Suoni armonici — Nodi e ventri di vibrazione — Metallo del suono. » 129
V. Interferenze — Definizione — Esempii d'interferenza — Battimenti . . . . » 140

OTTICA.

I. Moto diretto della luce — Raggio luminoso — Leggi dell'irradiazione e dell'illuminazione — Ombra e penombra — Fotometria — Celerità della luce . . . » 147
II. Riverberazione della luce — Diffusione e riflessione speculare — Specchi piani — Caleidoscopio — Specchi curvi — Caustiche — Idea delle anamorfosi. » 157
III. Rifrazione della luce — Legge della rifrazione — Spiegazione di alcuni fenomeni — Angolo limite — Fata morgana — Prisma — Iride — Righe dello spettro — Analisi spettrale. . . . . » 168
IV. Effetti delle lenti — Diverse specie di lenti — Lenti convergenti — Lenti divergenti — Centro ottico — Immagini prodotte dalle lenti — Errori di sfericità e rifrangibilità — Modo di correggerli . . . . . . » 181
V. Strumenti ottici — Steroscopio — Microscopio semplice e composto — Microscopio solare — Cannocchiale di Galilei — Cannocchiale astronomico — Cannocchiale terrestre — Telescopii per riflessione. . . . » 194
VI. Doppia rifrazione — Raggi ordinarii e straordinarii — Rifrazione nel piano della sezione principale — Rifrazione in un piano normale all'asse — Rifrazione secondo l'asse — Idea della polarizzazione. . » 201
VII. Natura della luce — La luce è materia — Il si-

stema dell'emissione e quello delle ondulazioni—La rifrazione considerata nei due sistemi — Interferenza dei raggi luminosi — Il moto rettilineo della luce e la diffrazione — La riflessione speculare e la diffusione — La polarizzazione. . . . . pag. 206

ELETTRICITÀ E MAGNETISMO.

I. Principali fenomeni elettrici — Definizione dell'elettricità — Corpi conduttori ed isolanti—Due specie di elettricità—La macchina elettrica, e suoi principali effetti — L'ipotesi di Symmer e quella di Franklin . . . . » 220

II. Principali fenomeni magnetici — Definizione del magnetismo — Poli — Forza direttrice e momento magnetico— Declinazione — Inclinazione — Equatore magnetico — I fluidi boreale ed australe — Corpi magnetici e diamagnetici . . . . » 228

III. Elettrometria — Elettroscopio di Bennet — Bilancia di Coulomb — Il pozzo di Boccaria e le figure di Leichtemberg — Legge delle distanze. . . . . » 234

IV. Induzione — Apparecchio di Riess — Dischi conjugati di Volta — Elettroscopio condensatore — Boccia di Leyden — Batteria elettrica — Elettroforo—Calamitazione — Distribuzione del magnetismo nelle calamite. . . . . » 239

V. Diversi modi di eccitamento elettrico — Mezzi meccanici — Calore — Azione chimica. . . . . . » 250

VI. Pila di Volta e sue diverse forme—Origine della pila — Pila a corona di tazze — Pila a truogo — Pila di Wollaston — Pila di forza costante — Pila di Zamboni . . . . » 252

VII. Principali effetti della pila e loro conseguenze — Commozione — Azione chimica — Deviamento dell'ago magnetico. Galvanometro — Resistenza dei circuiti — Misura della conduttibilità—Fenomeni termici — Pile termoelettriche — Sperimento di Peltier— Magnetismo indotto dalle correnti — Correnti indotte dal magnetismo — Correnti indotte da correnti. Estracorrente — Azione della terra su i conduttori delle correnti — Azione reciproca dei conduttori — Teoria amperiana del magnetismo — Fatti che la rifermano — Telegrafia elettrica . . . . » 262

CALORE.

I. Storia del termometro — Termometro di Galilei— Termometro degli accademici del Cimento — Scale termometriche — Termometro a massimo e minimo— Termometro di Breguet — Termometro di Borda . . pag. 284
II. Coefficienti di dilatazione — Definizioni — Determinazione dei coefficienti di dilatazione dei solidi e dei liquidi — Pendolo compensatore — Coefficiente di dilatazione degli aeriformi — Zero assoluto. . . » 292
III. Capacità termiche — Definizione — Capacità termiche dei solidi e liquidi — Pregi del termometro a mercurio — Capacità termiche dei gas . . . . . » 301
IV. Cangiamento di stato — Fusione — Solidificazione — Passaggio dei liquidi a vapori — Liquefazione degli aeriformi . . . . » 305
V. Trasmissione del calore — Conduzione — Convezione — Diatermasia — Termocrosi. . . . . . . » 315
VI. Calore raggiante e sue leggi — Raggi di calore — Termoattinometri — Riverberazione speculare— Legge delle distanze — Rifrazione — Polarizzazione. » 319
VII. Natura del calore — Il calore è movimento — Relazione dei cangiamenti termici colle meccaniche alterazioni dei corpi — Equivalente meccanico del calore — Alcune osservazioni sul calore specifico . . » 327
VIII. Applicazione delle teoriche precedenti ai fenomeni meteorologici — La temperatura — I venti — L'umidità dell'aria — La nebbia e le nubi — La rugiada — La pioggia, la neve, la grandine . . . . . » 334

INTRODUZIONE.

I.

Fenomeni e forze.

Fenomeni in generale — Fenomeni fisici — Fenomeni chimici — Inerzia — Forze — Forze impulsive — Forze continue.

1. Ogni cangiamento che si manifesta nei corpi, va sotto il nome di *fenomeno*. Quindi il sorgere e tramontare degli astri, lo sciogliersi di una nube in pioggia, le vibrazioni di una corda, e via dicendo, sono altrettanti fenomeni.

2. Se il fenomeno lascia inalterata la natura del corpo, che n'è il subbietto, vien distinto coll'aggiunto di *fisico*; se poi la natura del corpo ne resta mutata, il fenomeno si dirà *chimico*. Così il suono è un *fenomeno fisico*, perchè il corpo sonoro dopo averlo prodotto, torna lo stesso che prima; al contrario il legno dopo essersi bruciato, non lascia che cenere la quale è una cosa assai diversa del legno, e perciò diciamo che la combustione è un *fenomeno chimico*.

3. I fenomeni però, sieno fisici sieno chimici, non sono altra cosa che *moto*, ossia passaggio da luogo a luogo, sia di tutto un corpo, sia delle sue minime parti. La caduta di un grave, il sorgere di un astro sono movimenti

di tutto un corpo; al contrario nelle vibrazioni di una corda, nella soluzione di un sale nell'acqua il moto ha luogo soltanto nelle minime parti della corda, nelle minime parti del sale.

4. Ma nè tutto un corpo nè veruna delle sue parti può da sè mettersi in moto, stante che la *materia*, ossia ciò che costituisce i corpi, non ha tendenza nè al moto, nè alla quiete. Ed in vero le osservazioni più ovvie dimostrano che i corpi restano nei luoghi, in cui si trovano, finchè una cagione esterna non venga a cacciarli di là; e quando un corpo per una cagione qualunque ha cominciato a muoversi, continuerebbe a camminar sempre, se delle resistenze incontrate sulla via che percorre, non venissero a distruggere gradatamente il suo moto. Quando una palla è lanciata sopra un terreno molle, la si vede far poco cammino e presto fermarsi; ma se la spingiamo sopra un terreno duro, o meglio sopra un liscio selciato, la vedremo durar più tempo nel suo moto. Or questi fatti ci chiariscono che il moto prodotto in un corpo riesce tanto più durevole, per quanto più piccole sono le resistenze che si presentano; dimodochè se queste resistenze potessero interamente sparire, il moto dovrebbe esser perpetuo. I pianeti, a modo di esempio, conservano il moto che Dio ha loro impresso nell'atto della Creazione, perchè si muovono per uno spazio, in cui o non esiste resistenza veruna, o la è così piccola da non far che si scorga differenza di moto, quando si comparano le moderne osservazioni astronomiche a quelle che l'antichità ci ha tramandate.

Questa indifferenza della materia sì pel moto che per la quiete, si appella *inerzia* dal latino *iners* (*sine arte*), stantechè la materia non sa distruggere il moto nè uscire dalla quiete in cui per avventura si trovi.

5. Il nostro corpo è inerte egualmente che una pietra; ed intanto noi, volendo, possiamo passare dalla quiete al moto, o viceversa. La nostra volontà può dunque produrre in noi *una cosa* idonea a farci derogare alla legge d'inerzia: questa cosa è appunto la *forza*.

È *forza* dunque tutto ciò che produce moto o tende a produrlo. Così, considerando che una pietra non può da

sè mettersi in moto, e vedendo che lasciata libera ad una certa distanza dal suolo vi ritorna, noi attribuiamo questo moto ad una forza che chiamiamo *gravità terrestre*; e perciò usiamo la parola *grave* come sinonimo di corpo, qualora lo consideriamo soltanto per la sua tendenza a cadere.

6. Delle forze alcune si trasfondono nel mobile in un tempo più o meno piccolo, e talvolta quasi che istantaneamente, come l'urto, per esempio, un'esplosione, e simili; altre poi non lasciano giammai di far impeto sul corpo che ne riceve l'azione, come la gravità ed ogni altra sorta di forze attrattive. Le prime vengono distinte coll'aggiunto d'*impulsive*, le seconde con quello di *continue*.

II.

I corpi e le forze molecolari.

L' estensione — L' impenetrabilità — La porosità — La divisibilità — Le molecole e gli atomi — I corpi semplici ed i composti — La coesione — L' adesione — La ripulsione termica — L' affinità chimica.

7. Prima di dar cominciamento all'esame dei fenomeni, di cui la Fisica si occupa, giova dare uno sguardo generale su i corpi che ne sono il subbietto. **Estensione.**

Ogni corpo occupa una parte dello spazio, la quale per alcuni corpi è piccolissima, per altri è grandissima: è piccolissimo lo spazio in cui si racchiude un granello di sabbia, grandissimo quello per cui si estende il sole. Ma grande o piccolo che sia, uno spazio vi è sempre, e quindi diciamo: *ogni corpo è esteso*. E poichè non sappiamo immaginar corpo che non occupasse spazio, così riguardiamo l'estensione come una proprietà essenziale dei corpi.

Or l'estensione di un corpo può considerarsi rispetto alla grandezza e la diciamo *volume*, o rispetto al modo con cui è terminata e la diciamo *figura*. Poniamo che uno statuario riproduca in gesso e sotto piccole dimensioni la figura del vostro corpo, allora la statuetta ed il vostro corpo avranno una stessa figura occupando spazii assai differenti. Al contrario ponete in un bacino voto un bic-

chiere pieno di acqua fino all'orlo, ed in esso immergete una melarancia; questa farà traboccare nel bacino un volume di acqua eguale al suo, e così avremo due volumi eguali, quello della melarancia e l'altro dell'acqua caduta nel bacino, ma sotto figure assai diverse.

Considerando l'immensa varietà di forme che ci presentano i corpi della Natura, saremmo tentati a credere che quelle forme non andassero soggette a veruna legge; e pure non è così. I corpi organici, cioè gli animali ed i vegetali, sono sempre terminati da superficie curve, le quali definiscono forme diverse secondo le specie, ma invariabili in ciascuna specie. Al contrario gli esseri inorganici o minerali, quando le loro particelle non si sieno tumultuariamente accozzate, prendono forme di poliedri geometrici, che vanno distinte col nome di *cristalli*. Molte sostanze si trovano naturalmente cristallizzate, altre lo possono artificialmente divenire. Ponete, a modo di esempio, del sale di cucina in tanta quantità di acqua che non valga a scioglierlo interamente; e filtrata la soluzione, lasciate riposare in un bicchiere il liquido che otterrete. Se dopo alquanti giorni vi farete a guardare nel fondo del bicchiere, vi scorgerete alcuni piccoli corpi lucidi, che sono cristalli formati dal lento aggrupparsi delle molecole di sale sparse nell'acqua. Nè altrimente questo sale si estrae dalle acque del mare in cui sta disciolto, e quindi comprendiamo perchè in grossi pezzi non sia che un gruppo di cristalli.

Ma se invece di lasciar lentamente svaporare la soluzione di sale, l'avreste versata in una caldaia e messa a bollire sul fuoco, avreste riavuto ancora il vostro sale ma sotto forma di polvere.

Impenetrabilità. 8. Quando un luogo è occupato da un corpo, voi non ce ne potrete mettere un altro senza cacciar via il primo. Due o più corpi non possono dunque occupare in un medesimo tempo lo stesso spazio; e questo fatto si esprime dicendo: *i corpi sono impenetrabili.*

Se l'aeriforme che nasce dall'accensione della polvere da sparo, potesse uscire dalla canna del fucile passando attraverso il corpo del proiettile, questo non sarebbe cacciato dall'interno dell'arma. Se il martello percuotendo il

ferro messo sull'incudine, potesse attraversarlo senza incontrare veruna resistenza, il fabbro sprecherebbe tempo e fatica a voler cangiare la forma del ferro. Senza l'impenetrabilità i cavalli non potrebbero tirare le carrozze, l'acqua gassificata non potrebbe muovere lo stantuffo nel cilindro di una macchina a vapore, le navi non potrebbero stare a galla sul mare, ecc. ecc.

Ma il chiodo entra in una tavola, in un muro. Ciò è vero, senza che nulla provi contro il principio dell'impenetrabilità, imperocchè il chiodo entra in una tavola, come un corpo qualunque nell'acqua, vale a dire cacciando d'innanzi a sè le molecole del corpo in cui penetra. Quindi è che il chiodo non può entrare in un corpo che lo supera in durezza.

9. Se le minime particelle del legno debbono scostarsi per dar luogo al chiodo che entra, bisogna dire che esse trovino spazio in cui restringersi, e che in conseguenza vi sia tra esse un pò di voto. Quindi si comprende perchè il legno venga a fendersi, quando vi si voglia ficcare un chiodo alquanto grosso, e perchè il falegname per impedire la fenditura tolga un poco della sostanza legnosa con un succhiello. **Porosità.**

Questi piccoli spazii voti intermolecolari hanno ricevuto il nome di *pori*, e non evvi corpo che ne sia privo. Con una mediocre lente d'ingrandimento potremo vedere sulla nostra pelle i forellini che danno passaggio al sudore; ed anche ad occhio nudo possiamo osservare i pori nel legno ed in diverse specie di pietre; ma col più forte microscopio non arriveremo a vedere i pori dell'acqua. Evvi però un semplicissimo sperimento che ci dimostra l'esistenza dei pori in questo liquido. Si prenda un cannello di vetro terminato da una pallina, e dopo aver empito d'acqua la pallina con porzione del cannello, la s'immerga in un bagno assai freddo; si vedrà il liquido scendere nel cannello, la qual cosa dimostra che l'acqua si è contratta, e che in conseguenza vi sono pori. Nè l'acqua soltanto presenta questo fenomeno: tutti i corpi raffreddandosi si contraggono, ed in conseguenza tutti i corpi son porosi.

10. Che ogni corpo possa più o meno facilmente esser **Divisibilità.**

diviso in parti, è un fatto che conosciamo fin dall'infanzia; ma che la divisibilità possa spingersi fino a dare delle parti che per piccolezza sfuggano al potere dei sensi, è appunto ciò che vogliamo dichiarare, togliendone le prove dalle materie coloranti, dagli odori e dalle osservazioni microscopiche.

Diluendo un granello di carminio in un poco di acqua, a questa aggiungendo gradatamente dell'altra e sempre rimescolando, si arriverà a dare una sensibile tinta rosea a venti e più libbre di acqua. Or una libbra contenendo 7200 granelli, 20 libbre ne conterranno 144000; quindi una goccia di quell'acqua del peso di un granello conterrà $\frac{1}{144000}$ del granello di carminio. Nè questo piccolissimo fratto rappresenta l'ultima divisione della materia rossa, imperocchè non sapremmo pensare che in quella goccia non ve ne fossero più parti.

Un odore in generale non è che l'effetto di un'impressione prodotta sull'organo dell'odorato da certi effluvii che emettono taluni corpi, detti perciò *odorosi*. Ed un'emissione di sostanza, quantunque attenuata in modo da sfuggire ad ogni altro senso fuorchè a quello dell'odorato, sembra che un corpo odoroso non potesse attuarla senza una qualche diminuzione del suo peso. Purtuttavia un pezzo di muschio rimasto per alcuni giorni in una stanza, vi lascia, senza che abbia perduto sensibile quantità di peso, un odore che si avvertirà per parecchie settimane quantunque l'aria della stanza venga giornalmente rinnovata. La persistenza dell'odore, dopo l'allontanamento del muschio e non ostante il rinnovamento dell'aria, ci obbliga a supporre che particelle estremamente piccole di quella sostanza si sieno attaccate alla superficie dei muri, dei mobili, ecc. e che di là svolgendosi a poco a poco vengano, finchè non sieno del tutto esaurite, ad agire sull'organo dell'odorato. Di particelle, in sì gran numero separate dal pezzo di muschio senza che il peso ne scemasse sensibilmente, ci è impossibile immaginar la piccolezza.

L'acqua che racchiude foglie od altri avanzi di esseri organici, suol contenere alcuni piccoli animaletti, perciò denominati *infusorii*, e che sono visibili per opera sol-

tanto di un buon microscopio. E vi ha di così piccoli animaletti di questa specie che la lunghezza del loro corpo raggiunge appena $\frac{1}{400}$ di millimetro. Or se questa piccolezza ci è impossibile immaginarla, come potremo poi raffigurarci quella dei loro organi di moto, essendochè questi infinitesimi della Creazione si mostrano vivacissimi nel liquido in cui nuotano?

11. Se dalle cose dette nel n° precedente si rileva che i corpi sono divisibili in parti d'inconcepibile piccolezza, non potremo poi dedurne che la divisione dei corpi possa indefinitamente continuare, o che vi debba essere necessariamente un limite. **Molecole ed atomi.**

Una tal quistione è di quelle, a cui non si può rispondere altrimente che sotto forma di aforismo, imperocchè a volerle chiarire fa d'uopo prendere in considerazione una lunga serie di svariati fenomeni; su i quali la natura di questo lavoro non permettendoci di ragionare, dobbiamo limitarci a semplicemente enunciare che la divisibilità della materia all'infinito non può essere ammessa nello stato attuale delle conoscenze fisiche e chimiche.

E poichè si è costretti ad ammettere un limite nella disgregazione di un corpo in parti sempre minori, senza che perciò cessino di esser simili all'intero, così si son dovuti distinguere con apposito nome quest'infinitesimi dalla cui aggregazione il corpo risulta, e si son detti *molecole*, ossia piccole moli. Prendiamo, ad esempio, un pezzo di marmo, e riduciamolo per mezzo di triturazione in una finissima polvere. I granelli che la comporranno, ancorchè piccolissimi, pur tuttavia non differiranno dal pezzo di marmo che per sola grandezza, e lo stesso sarebbe delle molecole componenti ciascun granello, qualora potessimo giungere alla loro separazione.

Ma la molecola del marmo non è fatta di una sola sostanza. Essa si compone di *acido carbonico* e *calce*, che veruna azione meccanica può separare, ma che lo sono dal fuoco di una fornace; ed è così appunto che dalla *pietra calcare* si estrae la calce ad uso di cemento. Nè l'acido carbonico e la calce sono sostanze semplici, imperocchè il primo si compone di *carbonio* ed *ossigeno*, e la calce risulta dalla unione dell'ossigeno con un particolare me-

tallo denominato *calcio*. Ogni molecola di marmo si compone dunque di ossigeno, carbonio e calcio.

Le parti minime delle diverse sostanze componenti una molecola, si dicono *atomi*, nome che vuol dire *insecabili*. Dunque i corpi si compongono di *molecole*, e le molecole di *atomi*.

I corpi, nelle cui molecole non è stato finora possibile trovar sostanze di diversa natura, si dicono *corpi semplici*, e tali sono tutti i metalli, l'ossigeno, il carbonio, ecc. Si dicono poi *composti* quei corpi le cui molecole risultano da atomi di diversa natura, come ad esempio sono l'acqua, le diverse terre, i sali, gli acidi, ecc.

Coesione e adesione.

12. Quando con una qualsiasi azione meccanica ci facciamo a dividere un corpo in parti, v'incontriamo sempre una resistenza più o meno grande. Questa resistenza non può esser che l'effetto di una forza, alla quale si è dato il nome di *coesione* dal latino *cohaesi* (sono stato ligato), perchè rende tra loro ligate le molecole di un corpo, e ne forma un tutto.

La coesione è varia da un corpo all'altro non di sola quantità, ma per modo di essere ancora, imperocchè si osserva che un medesimo corpo non resiste egualmente alle diverse azioni meccaniche, come la percossa, il tiramento, la flessione, l'azione di una punta, e via dicendo. Il vetro, a modo di esempio, è più *duro* dell'acciaio, e perciò non è intaccato da una punta di temperino; è assai *rigido* quando è freddo, ma sotto una mediocre percossa va in pezzi, e perciò lo diciamo *fragile*; al contrario un filo di ferro ha poca rigidezza, stante che può esser facilmente piegato, ma è poi molto *tenace*, ossia resistente alle forti percosse e può sostenere grandi pesi prima di venirne spezzato.

La coesione non si trova soltanto nelle molecole dei solidi; anche in quelle dei liquidi n'esiste una certa dose. Immergete verticalmente un bastoncino nell'acqua e poi cavatelo fuori: vedrete l'acqua scorrere sulla parte bagnata del bastoncino, e poi riunirsi in una goccia pendente dall'estremità inferiore. Se le molecole dell'acqua non avessero coesione, esse sarebbero cadute l'una dopo l'altra dalla punta del bastoncino e la goccia non si sarebbe formata.

fig. 1.



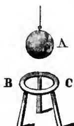
Ed osserviamo che il fatto della goccia pendente dall'estremità inferiore del bastoncino dimostra non solamente l'esistenza della coesione nelle molecole dell'acqua, ma benanche una forza di attrazione tra esse molecole e quelle del solido immerso, e che va distinta col nome di *adesione*; la quale nei solidi, quando le superficie di contatto sono ben levigate e si combaciono esattamente, può elevarsi ad un alto grado di energia. Due dischi di ottone A e B (*fig. 1*) di 4 pollici di diametro, spianati a dovere, unti leggermente di grasso e messi a contatto facendoli scorrere l'uno sull'altro con alquanta pressione, non troveranno un uomo abbastanza robusto, perchè tirandoli nelle opposte direzioni *pn* ed *om*, possa separar l'uno dall'altro.

Or di coesione, la quale è grande nei solidi e piccola nei liquidi, sono ancora provvisti i corpi simili all'aria, e perciò detti *aeriformi*? — A questa dimanda risponde il fatto che segue. Si prenda una vescica il cui collo sia fermato ad un robinetto, si comprima bene per cacciarne la massima parte di aria che vi sta dentro, e chiuso il robinetto si ponga il tutto sotto la campana pneumatica, ossia sotto una campana di cristallo, donde con ispeciale congegno può cavarsi quasi tutta l'aria che vi è contenuta. Allora facendo agire la macchina, si vedrà la vescica gonfiarsi a misura che l'aria andrà mancando sotto la campana, e riprender poi la sua primiera grandezza quando l'aria tolta verrà nuovamente restituita. Questo fatto dimostra che tra le molecole dell'aria, anzi che vicendevole attrazione, esiste una forza ripulsiva, la quale rimane più o meno vinta secondo che l'aria è più o meno premuta. E questa ripulsione deve tutta attribuirsi all'azione del calore, imperocchè parecchi dei corpi simili all'aria si son potuti trasformare in liquidi mercè d'intenso raffreddamento ausiliato da forte pressione.

Ripulsione termica.

13. Alla forza di coesione, che tende ad avvicinare le molecole dei corpi fino all'immediato contatto, si oppone la forza del *calore*, ossia di quello agente naturale che produce in noi la sensazione del caldo. Prendasi una palla di ferro A (*fig.* 2ª) che passi esattamente per l'anello BC; la si appenda ad un filo, poi s'immerga nell'acqua bollente, e dopo averla ivi lasciata per qualche tempo, si riporti sull'anello: si troverà che essa più non ci cape, la qual cosa dimostra che il riscaldamento ha fatto crescere il volume della palla. E si potrebbe ancora darle tal diametro, che superando quello dell'anello sotto l'ordinaria temperatura, si trovasse poi minore dopo aver tenuta per qualche tempo la palla coperta di neve e sal comune.

fig. 2.



Il calore dunque dilata i corpi, ed il freddo, ossia la sottrazione di calore, li restringe. Ma col dilatarsi di un corpo, la coesione vien meno, imperocchè si osserva che il vetro, rigido nell'ordinaria temperatura, si piega facilmente dopo averlo riscaldato, e se il calore vieppiù si accresce, lo si vede rammollito come una pasta, e facilmente riducibile in filo. Così ancora vediamo che il fabbro arroventa il ferro per farlo cedevole ai colpi di martello. E spingendo sempre più innanzi il grado di calore, si vede che la coesione nei solidi ne resta di tanto scemata da trasformarli in liquidi.

Al contrario la tempera, che rende sì duro l'acciaio, si ottiene immergendolo nell'acqua fredda dopo averlo fortemente arroventato. Nello stesso modo si tempera ancora il vetro, e ne danno esempio le *lagrime batave*, le quali non sono che gocce di vetro fuso, lasciate cadere in acqua fredda. Esse scoppiano in piccoli frantumi, quando prossimamente al corpo della lagrima (*fig.* 3) si spezzi il filo di vetro in cui sogliono terminare.

fig. 3.



E se l'istantaneo raffreddamento produce la tempera, il *ricuocimento*, che consiste nel riscaldare il corpo fino

al grado di calore che aveva quando fu temperato, e lasciarlo poi lentamente raffreddare, fa che la tempera vada interamente perduta. Se poi il corpo si ricuocesse ad un minor grado di calore, la tempera ne rimarrebbe diminuita, ma non distrutta.

14. La coesione, l'adesione, la ripulsione termica e l'affinità chimica vanno sotto la comune denominazione di *forze molecolari*, perchè la loro azione non si estende che a distanza infinitesima da ciascuna molecola. Al contrario la forza che spinge i corpi a cadere, quantunque risulti dalla pesantezza di ciascuna delle loro molecole, pur tuttavia non prende il nome di forze molecolari appunto perchè grandissima è la sfera della sua azione. Colui che in un pallone aerostatico si eleva a più migliaia di metri dal suolo, non cessa perciò di esser pesante, ossia di tendere verso la terra. Forze molecolari.

E che le suddette forze denominate *molecolari* abbiano realmente un infinitesimo raggio di azione, si comprenderà facilmente qualora si consideri che basta la piccola espansione prodotta dal calore, perchè la forza di coesione s'indebolisca di tanto da far passare un corpo dallo stato solido al liquido. E prova più convincente ancora ce ne offre l'esperimento che segue. Rotto che avremo in due un cilindro di vetro, troveremo che riponendo a contatto le parti separate, esse più non si tengono. Questo reciproco abbandono dei due pezzi del cilindro potrà dipendere o dall'essersi annientata l'attrazione che prima avevano le molecole separate, o da una grande diminuzione di questa forza a causa della piccola variazione che nelle distanze molecolari il congiungimento meccanico dei due pezzi del cilindro non può far a meno di produrre. Che la prima di queste due supposizioni debba rigettarsi, lo prova chiaramente il fatto che basta spianare le due facce separate perchè la loro adesione ricomparisca. Laonde non rimane vera se non la seconda supposizione, vale a dire che il raggio di azione delle forze, distinte mercè l'aggiunto di molecolari, è realmente infinitesimo.

15. Abbiamo osservato (n° 11) che la forza, la quale unisce l'acido carbonico alla calce in una molecola di marmo, non può esser vinta da forze meccaniche, come la per- Affinità chimica.

cossa, il tiramento, la triturazione, ecc. che d'altronde sono più che sufficienti a superare la coesione e l'adesione. Quella forza attrattiva deve almeno in grandezza differire da queste ultime, e perciò si è distinta con un nome particolare, e si è denominata *affinità chimica*. Ma la voce *affinità* suona lo stesso che *parentela*; e come è potuta mai sorgere l'idea di una parentela tra gli atomi componenti una molecola? — In un modo assai semplice — Torniamo all'esempio del marmo, e poniamo che su questa sostanza si versi un poco del liquido, detto dai chimici *acido solforico*. Appena questo liquido sarà caduto sul marmo, vedremo nel luogo del contatto dei due corpi svolgersi un aeriforme, quasi che il liquido bollisse. Questa effervescenza si vedrà poi gradatamente scemare, e se quando sarà spenta del tutto ci faremo ad esaminare ciò ch'è divenuto il marmo in quel luogo, lo troveremo mutato in gesso, il quale non è che un composto di acido solforico e calce. L'acido solforico ha dunque per la calce una maggiore attrazione, o metaforicamente, una più *stretta parentela* di quella che vi ha l'acido carbonico.

L'affinità dunque compone gli atomi in molecole, come queste per mezzo della coesione compongono i corpi solidi e liquidi.

MECCANICA E GRAVITÀ

I.

Il moto e le forze in generale.

Moto rettilineo — Moto uniforme — Misura delle forze — Moto vario — Libera discesa dei gravi nel voto.

16. Abbiamo appreso (n.i 3 e 4) che ogni fenomeno è moto, e che ogni moto suppone una forza. Volendo dunque procedere ordinatamente dalle idee semplici alle composte, nel che propriamente consiste la scienza, è d'uopo considerare in generale le forze ed i moti che ne sono gli effetti, prima di farci a riguardarli sotto le speciali forme costituenti i singoli fenomeni. Moto rettilineo.

I moti sono effetti di forze. Ma se la cagione produttrice del moto sta nell'azione di una sola forza, il moto riuscirà necessariamente rettilineo; così è retta la linea che un grave descrive in una libera caduta. Nè potremmo concepir la cosa diversamente, imperocchè se poniamo che il mobile devii per un verso dalla linea retta, ci troveremo poi nell'impossibilità di assegnare una ragione perchè non abbia deviato pel verso opposto.

17. Se la forza è di quelle che abbiamo distinte (n° 6) coll'aggiunto d'*impulsive*, vale a dire che dopo uno o più conati compiuti in brevissimo tempo cessano dal farne al- Moto uniforme.

tri, allora il moto che ne risulta, se non incontra veruna resistenza, sarà necessariamente *uniforme*, vale a dire che il mobile percorrerà spazii eguali in tempi eguali. Ed in vero, se ponessimo che il moto potesse in tal caso divenire più o meno celere, allora in questo *più* o *meno* avremmo un effetto, a cui l'inerzia della materia c'impedirebbe di assegnare veruna cagione.

E dall'essere nel moto uniforme eguali gli spazii percorsi in tempi eguali, segue che se noi conosciamo il cammino fatto dal mobile in una sola unità di tempo e sappiamo ancora la durata del suo moto, potremo determinare la totalità del percorso cammino. Ponendo, a modo di esempio, che un cavallo abbia camminato per 4 ore facendo 5 miglia all'ora, è evidente che la quantità della via percorsa sarà data dal prodotto di 4 per 5. Il cammino fatto in una sola unità di tempo si denomina *velocità;* e quindi si fa chiara la regola:

Nel moto uniforme lo spazio è dato dal prodotto della velocità pel tempo.

Donde poi risulta:

1.° *Che la velocità è il quoziente dello spazio diviso pel tempo.*

2.° *Che il tempo si ha dividendo lo spazio per la velocità.*

3.° *Che se due mobili percorrono spazii eguali con diverse velocità, vi debbono impiegar tempi inversamente proporzionali alle stesse velocità.*

Misura delle forze. 18. Poniamo che un corpo per una forza che gli è stata impressa, si muova percorrendo 10 metri per ogni minuto secondo. Se il corpo cammina senza rotare, 10 metri ancora percorrerà ogni sua minima parte; e se volessimo che pari velocità avesse ogni minima parte di un secondo corpo che ne contenesse un numero doppio, bisognerebbe ad ognuna di queste comunicare la stessa frazione di forza, toccata a ciascuna delle prime, ed impiegare in conseguenza una quantità di forza doppia di quella che ha servito a muovere il primo corpo. E tutto ciò deriva necessariamente dal principio che la materia è inerte.

La quantità delle minime parti contenute in un corpo, si denomina *massa*; e quindi diciamo:

Due corpi che si muovono con eguali velocità, debbono aver forze proporzionali alle loro masse.

Poniamo viceversa che due corpi, i quali abbiano masse eguali, si muovano con diverse velocità. Necessariamente dovremo ammettere che maggior forza si ritrovi nel corpo che va più celere, imperocchè la forza, come cagione, dev'essere crescente o decrescente insieme alla velocità che n'è l'effetto. Ma per soddisfare a questa condizione non siamo logicamente costretti ad ammettere che la forza sia doppia, tripla ecc., quando la velocità sarà divenuta doppia, tripla, ecc. Imperocchè si hanno molte relazioni numeriche da questa differenti e che pur tuttavia rendono soddisfatta la dipendenza che deve esistere tra un effetto e la sua cagione; potremo a modo di esempio supporre, senza offendere il principio, che le forze variassero come i quadrati delle velocità. La scienza intanto ha trovato che tra le varie supposizioni che all'uopo potrebbero farsi, la sola che realmente esiste in Natura è quella della *semplice ragion diretta*, vale a dire che una forza è doppia, tripla, ecc. di un'altra forza, quando in una data massa la prima produce una velocità doppia, tripla, ecc. di quella prodotta dalla seconda.

Da tutto ciò si rileva che le forze dovranno stimarsi più o meno grandi, secondo che saranno più o meno grandi le masse animate da eguali velocità, o che saranno più o meno grandi le velocità comunicate a masse eguali. Laonde *massa* del mobile e *velocità* in esso prodotta, sono i due determinanti la grandezza della forza che gli è stata comunicata.

Ma in qual modo dalle espressioni numeriche dei due determinanti di una forza si potrà dedurre l'espressione numerica o la *misura* di essa forza? Ogni grandezza, e la forza n'è una, non si misura altrimente che comparandola ad un'altra grandezza della stessa sua specie: così le lunghezze si misurano comparandole al metro che ancor esso è una lunghezza, i pesi ad un altro peso qual'è il chilogramma. In conseguenza la misura di una forza non potrà ottenersi che per mezzo della sua comparazione ad un'altra forza.

Ma il chilogramma, il metro, ecc. sono quantità inva-

riabili. Perciò la forza che prenderemo per termine di comparazione, ossia *l'unità di forza*, dovrà esser sempre ed ovunque la stessa; e tale l'avremo se all'uopo sceglieremo quella che nell' *unità di tempo* faccia percorrere *l'unità di lunghezza* all'*unità di massa*. Ma l'unità di lunghezza percorsa nell'unità di tempo costituisce *l'unità di velocità*; dunque prenderemo per *unità di forza* quella che produca *l'unità di velocità nell'unità di massa*. Questa forza sarà necessariamente espressa dal numero 1; quella poi che desse la velocità 1 alla massa 3, dovrebbe esser rappresentata dal numero 3, e se per la massa 3 si volesse la velocità 2, la forza dovrebbe essere 2 volte 3, vale a dire 6. Quindi si fa chiara la regola:

La misura di una forza si ottiene moltiplicando la massa del mobile per la sua velocità.

E da questo principio risulta:

1.° *Che conoscendo la forza e la massa del mobile, si conoscerà la sua velocità dividendo la forza per la massa.*

2.° *Che conoscendo la forza e la velocità del mobile, si determinerà la sua massa dividendo la forza per la velocità.*

3.° *Che forze eguali, comunicate a masse differenti, debbono produrre velocità inversamente proporzionali alle masse.*

Moto vario. 19. Il moto vario non può essere che l'effetto o di una forza continua, o di una resistenza che continuamente si riproduce. Nel primo caso si ha moto vario *accelerato*, nel secondo si ha moto vario *ritardato*.

Prendendo la gravità ad esempio di forza produttrice di moto vario, osserviamo che la continuità della sua azione non si può concepir altrimenti che sotto forma di una serie infinita di conati, di cui l'uno succede immediatamente all'altro. Quando il corpo è sostenuto o sospeso, i conati della gravità restano distrutti a misura che si producono; ma se il corpo è libero, essi aggiungendo sempre velocità a velocità, gli faranno percorrere spazii sempre più grandi in eguali porzioni di tempo. Questa specie di moto vario va distinta coll'aggiunto di *accellerato*; e perciò le forze continue che ne sono la cagione, si dicono ancora *forze acceleratrici*.

Se poi in vece di lasciar libero un grave, lo lanciamo verticalmente in alto, la forza impressa trovando nell' opposta forza di gravità una cagione di continua perdita, anderà sempre scemando di energia, ed in conseguenza il grave in eguali porzioni di tempo salirà di spazii sempre più piccoli. Abbiamo così un esempio di moto vario *ritardato*.

Conosciamo (n° 17) quali relazioni esistono tra spazio, tempo e velocità nel moto uniforme; ora cercheremo le analoghe relazioni nel moto vario, prendendo ad esempio quello prodotto dalla gravità.

Libera discesa dei gravi nel voto.

20. Se di questo movimento volessimo indagar le leggi facendoci ad osservare la caduta dei gravi da una certa altezza, c'incontreremmo o in moti troppo celeri per poterli direttamente osservare, qual sarebbe per esempio la caduta di una pietra, di un metallo, ecc. ovvero avremmo un moto troppo alterato dalla resistenza dell'aria, come sarebbe la caduta di un fiocco di cotone.

Galilei, a cui è dovuta la scoverta delle leggi del moto vario, seppe all'uopo servirsi della caduta dei gravi per un piano inclinato, ed in appresso ne vedremo la ragione. Quì in vece ci serviremo della *macchina di Atwood*.

L'elemento principale di questa macchina è una ruota A (*fig. 4*) mobilissima intorno ad un asse orizzontale. La ruota è scanalata nella circonferenza per poter ricevere un cordoncino da cui pendono due pesi eguali *m* ed *n*, che resteranno in equilibrio, non essendovi ragione per cui la ruota debba girare a destra piuttosto che a sinistra. Poniamo che ciascuna delle masse *m* ed *n* pesasse 50 grammi, e che alla massa *n* si aggiungesse il peso di un grammo. Questo peso se fosse stato libero, sarebbe disceso con una certa velocità, ma poichè nella sua caduta deve seco trascinare le masse *m* ed *n*, facendo salir la prima e scendere la seconda, così la sua velocità dovrà scemare (n° 18—1°) nella stessa ragione in cui la massa del mobile si è accresciuta, vale a dire che dovrà risultare 101 volte più piccola (1). E con questo artificio la

(1) Nel fatto riuscirebbe ancor più piccola, imperocchè dalla forza che la gravità comunica al peso addizionale bisogna togliere la parte che ne assorbono l'inerzia della ruota, l'attrito dell'asse e la resistenza dell'aria.

gravità, senz'alterare la sua natura di forza continua, produce sì lenta discesa che l'occhio può facilmente seguire, e che non trova nell'aria considerevole resistenza.

fig. 4.

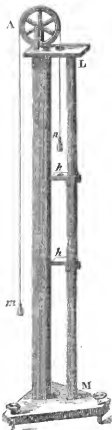


fig. 5.



fig. 6.



A fianco al filo di sospensione del peso *n* sta fermata la riga graduata LM sulla quale è scorrevole il piattello *h*. Poniamolo fermato a tale altezza che la massa *n* col suo peso addizionale, cadendo dall'origine delle divisioni della riga, lo percuota al terminare del 1° minuto secondo della sua caduta. Rifatto l'esperimento in modo che la massa *n* collo stesso peso addizionale colpisca il piattello al termine di 2 secondi, si troverà che lo spazio descritto nella 2ª caduta è quadruplo di quello descritto nella 1ª. Similmente si troverà uno spazio 9 volte maggiore del primo in una caduta di 3 secondi, 16 volte maggiore in un'altra di 4 secondi, e così di seguito.

Or i numeri 1, 4, 9, 16,... che rappresentano i rapporti degli spazii percorsi in 1, 2, 3, 4,... unità di tempo, sono appunto i quadrati di questi ultimi numeri. Potremo dunque dire che:

Nella libera caduta dei gravi nel voto (stantechè il modo di sperimentare ha resa trascurabile la resistenza dell' aria) *gli spazii a contare dall' origine del moto, crescono come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli.*

Ma se il grave nelle due prime unità di tempo della sua caduta nel voto percorre un cammino 4 volte più grande di quello fatto nella 1ª unità, fa d'uopo dire che nella 2ª unità ne avrà fatto 3 volte tanto che nella 1ª. Similmente si trova che nella 3ª unità di tempo ne farà 5 volte tanto, 7 volte tanto nella 4ª, e così di seguito. Dimodochè abbiamo la legge:

Gli spazii percorsi nelle successive unità di tempo della caduta di un grave nel voto, crescono come i termini della serie naturale dei numeri dispari, 1, 3, 5, 7, 9,...

Or in seguito vedremo che un grave, se cadesse nel voto, percorrerebbe 15 piedi nel 1° minuto secondo; quindi ne farebbe 45 nel 2°, 75 nel 3°, 105 nel 4°. La somma di questi quattro spazii essendo 240, si vede che se l'aria non resistesse, un corpo non impiegherebbe che 4 secondi per cadere da un' altezza di 240 piedi. Ed il tempo effettivamente impiegato non sarebbe gran fatto diverso dai 4 secondi, se la caduta fosse attuata da una palla di piombo; ma un fiocco di cotone v'impiegherebbe un tempo assai più grande.

21. Per chiarire la cagione di questa diversità di moto, immagino che due palle, A e B, di egual diametro, la prima di ottone e pesante 80 grammi, l' altra di avorio e del peso di 20 grammi, si muovano attraverso l'aria, e che in un certo istante del loro moto abbiano eguali velocità, e posseggano in conseguenza (n° 18) forze che per quell' istante saranno rappresentate dagli stessi numeri esprimenti le loro masse. Or se la velocità si potessero conservar eguali negl' istanti successivi, le due palle in eguali tempi dovrebbero cacciarsi d'innanzi eguali masse di aria, e patire in conseguenza eguali perdite di forza. Poniamo che queste perdite sieno di 5 unità delle loro forze: così la palla A, che ne aveva 80, resterebbe con 75, ed a B che aveva 20 unità di forza, ne rimarrebbero 15. Allora la palla A si troverebbe di possedere una forza 5 volte più grande di quella di B, mentre la

Resistenza dei mezzi.

sua forza non era prima se non 4 volte maggiore dell'altra. Dunque se in un istante le palle A e B avessero eguali velocità, nell'istante appresso A dovrebbe correre più celeramente di B. Quindi si comprende perchè il fiocco di cotone scenda con velocità minore di quella con cui cade una pietra od un metallo.

Nell' esempio proposto i due corpi avevano la stessa figura, eguali volumi e masse differenti. Ma se queste fossero eguali, e diversi i volumi e le figure, allora l'effetto della resistenza del mezzo sarebbe maggiore pel corpo che presentasse più grande superficie al mezzo ambiente.

E per valutare esattamente la resistenza di un mezzo bisogna tener conto ancora della velocità con cui un corpo vi si muove. Poniamo che questa velocità sia di 100 metri a minuto secondo; il corpo farà una perdita di forza, e quindi di velocità, la quale dovrà esser proporzionale al numero di molecole del mezzo che in un secondo dovrà cacciarsi d'innanzi, ed al grado di velocità che dovrà comunicare a ciascuna di esse. Ma se la velocità del mobile fosse stata doppia, cioè di 200 metri a secondo, allora nello stesso tempo il mobile avrebbe dovuto smovere un doppio numero di molecole e comunicare a ciascuna una velocità doppia; avrebbe fatto in conseguenza una perdita 4 volte maggiore della prima. Similmente troveremmo che la perdita di forza sarebbe stata 9 volte più grande per una velocità tripla, 16 volte più grande per una velocità quadrupla, e così di seguito. Dunque in generale la perdita di forza che un corpo soffre per vincere la resistenza del mezzo in cui si muove, dev'essere proporzionale al quadrato della sua velocità.

Quindi si comprende come i gravi cadendo incontrino nell'aria una resistenza che rapidamente cresce, a misura che il loro moto si viene accelerando, e che in conseguenza può giungere a tanto da distruggere i successivi conati della gravità. Allora il moto si trasformerà da accelerato in uniforme, la qual cosa avverrà tanto più presto per quanto minore sarà la massa del corpo e maggiore la superficie opposta alla resistenza del mezzo; quindi comprendiamo come i fiocchi di neve acquistino bentosto l'uniforme lentezza della loro caduta.

22. Ritorniamo alla macchina di Atwood. Sulla riga graduata LM (*fig. 4*) è scorrevole, oltre al piattello h, anche l'anello k pel quale può passare comodamente il peso n col suo peso addizionale, quale si vede rappresentato nella *fig. 5*. Continuazione delle leggi del moto vario.

Quindi l'anello non può essere di ostacolo all'attuazione degli sperimenti finora descritti. In quello però che andiamo ad indicare il peso addizionale vuol aver la forma rappresentata dalla *fig. 6*, affinchè possa venir fermato dall'anello senza nuocere al cammino del peso n. Il quale si troverà così sottratto dall'azione acceleratrice della massa addizionale, e potrà mediante la velocità acquistata continuare a discendere con moto uniforme.

Ciò premesso, fermiamo a tali altezze l'anello k ed il piattello h, che il peso addizionale sia fermato dal primo al batter del 1° secondo, ed al batter dell'altro il peso n incontri il piattello. Se allora ci faremo a comparare lo spazio descritto dal peso n gravato della sua carica, a quello descritto dallo stesso peso nel tempo che n'è stato libero, troveremo il primo spazio esser metà del secondo; e ripetendo la prova con cadute che durino 2, 3, ecc. secondi, si troverà sempre che gli spazii descritti sotto l'azione acceleratrice della massa addizionale sono metà di quelli descritti in egual tempo dal peso n che scende sgravato della sua carica. Quindi potremo formular la legge: *Se in un punto qualunque della linea percorsa da un grave cadente nel voto, la gravità cessasse di agire, il grave mediante la velocità acquistata percorrerebbe in altrettanto tempo e con moto uniforme uno spazio doppio del già percorso.*

Facciamo ancora un altro sperimento. Lasciamo cadere il peso n colla sua massa addizionale una prima volta per 1 secondo, an'altra volta per 2 secondi ed una terza volta per 3 secondi; ed al termine di ognuna di queste cadute la massa addizionale sia fermata dall'anello k, ed al termine del successivo minuto secondo il peso n incontri il piattello h. Così facendo troveremo che questo peso, sgravato della sua carica, avrà descritto tre spazii che sono tra loro come i numeri 1, 2, 3; e poichè ciascuno di questi spazii è stato descritto nell'unità di tempo, così

ciascuno di essi sarà l'espressione della velocità acquistata nel tempo precedente. Quindi si ha la legge:

Nella libera discesa dei gravi nel voto la velocità va crescendo in ragione della durata della caduta.

O più brevemente:

Nella libera discesa dei gravi nel voto la velocità cresce come il tempo.

Questa legge definisce una specie particolare di moto accelerato, distinta col nome di *moto equabilmente accelerato.* L'accelèrazione potrebbe aver luogo, senza che fosse *equabile*, vale a dire senza che la velocità crescesse esattamente nella ragione del tempo. In appresso avremo esempii di moto *variamente accelerato*; e ritornando sull'argomento troveremo che un grave, il quale scendesse dall'altezza di parecchie migliaia di piedi, acquisterebbe una velocità che crescerebbe più rapidamente della durata della sua caduta.

Moto ascendente dei gravi.

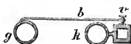
23. Mercè le leggi della caduta dei gravi nel voto, esposte nei n[i] precedenti, possiamo determinare la velocità da comunicarsi ad un grave, perchè salga ad una certa altezza. Va già sottinteso che non terremo conto della resistenza dell'aria.

Poniamo che l'altezza, a cui il grave debba salire, sia di 240 piedi. Abbiamo detto (n° 20) che un grave, cadendo in uno spazio voto, percorrerebbe nel 1° secondo 15 piedi, 45 nell'altro, 75 nel 3°, 105 nel 4.° Questi cammini uniti insieme formano i 240 piedi della supposta altezza. Da questa dunque un grave cadrebbe in quattro secondi, ed in forza della legge esposta nel n° precedente il grave avrebbe al termine del 1° secondo la velocità di 30 piedi, di 60 piedi al terminare del 2°, di 90 alla fine del 3°, ed alla fine del 4° secondo batterebbe sul suolo colla velocità di 120 piedi a secondo. Questa velocità sarebbe l'effetto della somma dei conati fatti dalla gravità in 4 secondi; altrettanta velocità in egual tempo essa distruggerebbe, se si trovasse ad agire in direzione opposta al moto di un corpo. Quindi se spingiamo verticalmente in alto un grave dandogli la velocità di 120 piedi a secondo, questa sarà distrutta in 4 secondi e riprodurrà colla sua continuata diminuzione tutte le fasi di velocità

che avrebbero avuto luogo in una caduta dalla medesima altezza. Laonde:

Perchè un grave ascenda ad una certa altezza, bisognerà spingerlo in alto colla velocità che avrebbe acquistata cadendo dalla medesima altezza.

fig. 7.



Colla macchina di Atwood si può facilmente sperimentare l'esattezza di questa legge. All'anello *k* (*fig. 4*) che supponiamo visto in pianta, va fermato mercè la vita *v* (*fig. 7*) il bastoncino metallico *b* che finisce coll'anello *g*. La distanza tra i centri dei due anelli è quanto quella che separa i fili di sospensione dei pesi *m* ed *n*, ed il loro sistema vuol esser fermato a tale altezza sulla riga LM (*fig. 4*) che le basi superiori dei cilindri *m* ed *n* si trovino nel piano delle facce superiori degli anelli. Fatto ciò, si lasci sull'anello *g* una massa addizionale, eguale a quella di cui sarà gravato il peso *n*, e questo si faccia salire all'origine delle divisioni della riga. Lasciandolo cadere di là, la sua massa addizionale sarà fermata dall'anello *k* nel medesimo istante in cui il peso *m* salendo verrà a caricarsi di quella giacente sull'anello *g*. Così la velocità acquistata dal peso *n* in forza della sua carica addizionale verrà impiegata a far salire l'egual massa da cui è gravato il peso *m*. E si troverà che in un tempo prossimamente eguale a quello della discesa di *n*, il peso *m* salirà quasi all'altezza donde l'altro è caduta.

La piccola differenza di tempo e di altezza, che nel fatto s'incontra, è dovuta all'attrito ed alla resistenza dell'aria, che quantunque grandemente attenuate, purtuttavia non sono nulle.

II.

Composizione delle forze concorrenti in un punto.

Parallelogrammo delle forze — Composizione di un numero qualunque di forze concorrenti in un punto — Scomposizione di una forza in altre — Via dei projetti nel voto.

Parallelogrammo delle forze.

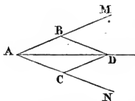
24. Sappiamo (nº 16) che l'effetto di una forza è quello di produrre un moto rettilineo nel corpo su cui agisce. Or la retta per la quale il corpo si muove o tende a muoversi, costituisce la *direzione* della forza.

E noto ancora (nº 17) che il moto prodotto da forza impulsiva oltre ad esser rettilineo, è ancor uniforme. Quindi se dalla retta che rappresenta la direzione di una forza impulsiva, togliamo una parte proporzionale al cammino fatto dal mobile nell'unità di tempo, avremo un'espressione grafica dell'intensità della forza.

Se poi la forza è continua e quindi produttrice di moto vario, allora la sua energia dovendo esser proporzionale alla velocità prodotta nella 1ª unità di tempo, la lunghezza della retta rappresentante la grandezza della forza, dovrebbe esser proporzionale al cammino che il mobile farebbe nella 2ª unità di tempo per solo effetto della velocità acquistata nella 1ª.

Sia dunque impulsiva o continua una forza, potremo sempre rappresentarne con una semplice linea retta tanto la direzione che l'energia.

fig. 8.



Ciò premesso, immaginiamo che un punto materiale A (*fig. 8*) sia spinto nel tempo stesso secondo le due direzioni AM ed AN. È chiaro che il mobile non potrà nel tempo stesso andare per l'una e l'altra via, nè seguir l'una in preferenza dell'altra. Dovrà dunque camminare per una via del tutto diversa.

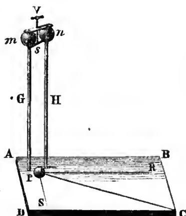
La direzione che il mobile seguirà in tale ipotesi e la quantità di cammino che farà

nell'unità di tempo, vengono determinate mercè la seguente semplicissima costruzione — Sulle rette AM ed AN, che rappresentano le direzioni delle due forze, si prendano le parti AB ed AC proporzionali alle loro grandezze, e con esse si costruisca il parallelogrammo ABCD: la diagonale AD sarà la linea richiesta.

Ciò vuol dire che se AB ed AC sono gli spazii che le singole forze farebbero descrivere al mobile in un dato tempo, la loro azione simultanea gli farà percorrere in egual tempo la retta AD.

Lasciando alla Meccanica razionale il compito di assegnare la ragione di questa costruzione, noi ci limiteremo a chiarirne l'esattezza con qualche sperimento.

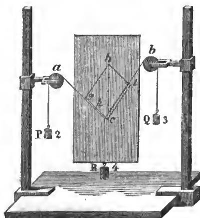
fig. 9.



Sopra una tavola quadrata ABCD (*fig. 9*) che può disporsi orizzontalmente mercè le quattro viti dond'è sorretta, si elevano a perpendicolo le due bacchette metalliche G ed H. Lungo queste bacchette sono scorrevoli le due eguali palle di avorio *m* ed *n*, che ritenute dal sostegno *s* si possono poi far cadere simultaneamente, girando il sostegno per mezzo del perno *v* a cui sta fissato. Sulla tavola giace la palla di avorio P, situata in tal punto che quando si lascia cadere la sola palla *m*, la P viene urtata nella direzione PR parallela al lato AB della tavola, e va poi nella direzione PS parallela ad AD, quando è colpita dalla sola palla *n*. Facendo poi cadere le due palle nel tempo stesso, i loro urti simultanei ed eguali spingeranno la palla P secondo la diagonale di un quadrato costruito sulle direzioni rettangolari PR e PS.

Con questo sperimento non potremo verificare che la sola direzione del moto risultante dall'azione simultanea di due forze eguali. Ma coll'apparecchio che andiamo a descrivere, e nel quale la forza risultante dall'azione contemporanea di due altre viene equilibrata da una terza forza, il principio del parallelogrammo rimane pienamente rifermato.

fig. 10.



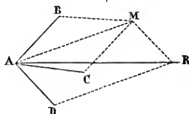
A due sostegni verticali sono fissate, come si vede nella *fig. 10*, due mobilissime girelle a, b in modo che i piani delle loro gole vadano confusi in un solo. Per esse gole passano i due capi di un filo da cui pendono i pesi P e Q, l'uno di due once, a modo di esempio, e l'altro di 3; ed in un punto c dello stesso filo n'è legato un altro cd, da cui pende un peso R di 4 once. Quando l'equilibrio del sistema si sarà stabilito, è chiaro che la risultante delle forze con cui sono tirati i capi ac e cb del primo filo, sarà eguale ed opposta alla forza con cui il peso R tira il filo cd.

Or per vedere come questo sperimento rifermi il principio del parallelogrammo, si tiri sopra un foglio di doppia carta la retta kh e si divida in 4 parti eguali; indi dagli estremi k ed h come centri e con raggi rispettivamente eguali a 2 e 3 delle 4 parti della kh si descrivano due archi di cerchio che si taglieranno in un punto g; e finalmente tirate le congiungenti $gh = 3$ e $gk = 2$, si completi il parallelogrammo $ghlk$.

Preparata così la carta, si porti il suo piano a comba-

ciare con quello dell'angolo *acb* formato dai capi del filo da cui pendono i pesi P e Q, e si troverà che facendo coincidere il vertice *k* del parallelogrammo col punto c, ed il lato *kg* colla direzione del filo *ca*, il lato *kl* si troverà diretto secondo il filo *cb* e la diagonale *kh* starà per diritto col filo *cd*. Così le rette *kg*, *kl*, *kh* si troveranno rappresentare realmente le direzioni e grandezze delle due *forze componenti* P e Q e della loro *risultante*, eguale ed opposta alla trazione del peso R.

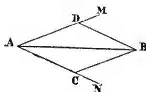
fig. 11.



Composizione di molte forze concorrenti in un punto.

25. Mercè il principio del parallelogrammo potremo determinare la risultante di qualsiasi numero di forze, le quali con intensità e direzioni qualunque agiscano sopra un punto materiale. Sia A (*fig. 11*) il punto di concorso di tre forze rappresentate in grandezze e direzioni dalle tre rette AB, AC, AD. Sulle due rette AB, AC costruiscasi il parallelogrammo ABMC; la diagonale AM rappresenterà la forza nascente dall'azione simultanea delle due forze AB ed AC, e che in conseguenza potrà sostituirle. Così in vece delle tre forze date potremo considerare le due, AM ed AD, sulle quali formato il parallelogrammo AMRD, la diagonale AR esprimerà la risultante richiesta. E nello stesso modo si continuerebbe la costruzione della figura, se fosse maggiore il numero delle componenti.

fig. 12.



Scomposizione di una forza in altre.

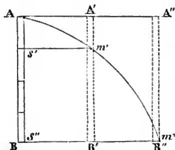
26. Stando sempre al principio del parallelogrammo potremo ancora decomporre una forza in altre due di cui sieno date le direzioni o le grandezze. Sia AB (*fig. 12*) la forza data, agente sul punto A, e sieno AM ed AN le direzioni che dovranno avere le compo-

nenti richieste. Dal punto B si conducano la BC parallela ad AM e la BD parallela ad AN: saranno AC ed AB le richieste grandezze delle componenti della forza AB.

E se le grandezze delle componenti fossero date e si volessero le loro direzioni AM ed AN, allora dopo aver costruito il triangolo ACB colle tre rette date si completerebbe il parallelogrammo ADBC, e così verrebbero definite le direzioni AM ed AN delle due componenti.

Via dei projetti nel voto.

fig. 13.



27. La linea che i projetti descriverebbero nel voto, fu trovata da Galilei appena che ebbe scoperte le leggi della libera caduta dei gravi. Immaginiamo che un grave (*fig. 13*) sia lasciato libero in A nel tubo verticale AB, privo di aria ed indefinito, mentre questo è spinto a correre parallelamente a sè stesso e con moto uniforme lungo la retta AA'', venendo in A'B' al termine della 1ª unità di tempo, in A''B'' al finir dell'altra, e così di seguito. Poniamo che il grave, trovandosi in A al cominciar del moto, sia giunto in m' quando il tubo sarà pervenuto in A'B' al termine della 1ª unità di tempo. Al terminar dell'altra il tubo si troverà in A''B'', ed il grave avendo percorso uno spazio quadruplo (nº 20) di quello descritto nella 1ª unità di tempo, si troverà in m''. Così il grave nelle due prime unità di tempo, per l'azione congiunta della gravità e della spinta trasmessagli per mezzo del tubo, avrà percorsa la curva A$m'm''$. Or conducendo $m's'$ ed $m''s''$ parallele ad AA'', abbiamo che As'' è quadrupla di As', mentre $m''s''$ non è che doppia di $m's'$. Quindi perchè il rapporto di queste seconde rette sia eguale a quello delle due prime, bisognerà elevare a quadrati i termini che lo costituiscono; e così avremo:

quad. di $m''s''$: quad. di $m's'$: : As'' : As'.

Ma queste relazioni non possono aver luogo se non nella curva che i geometri dicono *parabola*; dunque la linea o *traettoria*, che i gravi proietti percorrerebbero nel voto, è una parabola.

La traettoria poi dei gravi proietti attraverso l'aria dovrà tanto più divergere dall'esser parabolica per quanto maggiore sarà la velocità di proiezione, sapendosi (n° 21) che la resistenza di un mezzo cresce come il quadrato della velocità del mobile. Quindi se la curva descritta da una palla spinta colla mano non sarà gran che diversa da una parabola, molto ne dovrà poi divergere quella del proietto di un'arma da fuoco.

La linea percorsa dai proietti non è che un caso particolare di moto, prodotto dall'azione simultanea di una forza continua con altra d'impulso; e dalla natura di essa linea potremo dedurre che ogni moto curvilineo supponga necessariamente il concorso di una forza continua.

III.

Composizione delle forze parallele.

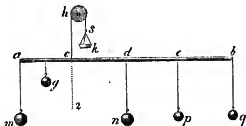
Esempio di forze parallele — Risultante di due forze parallele — Risultante di un numero qualunque di forze parallele — Centro di esse — Momento di una forza — Momento di una coppia.

28. Due forze, perchè si facciano equilibrio, è necessario non solo che sieno eguali, ma che agiscano per opposte direzioni; imperocchè se queste formassero un angolo, le forze pel principio del parallelogrammo dovrebbero produrre una risultante, e l'equilibrio sarebbe impossibile. Laonde se vediamo che un corpo sospeso ad un filo giace in perfetto riposo, dovremo dire che secondo la direzione di quel filo agisce la forza di gravità, che spinge il corpo a cadere. **Esempio di forze parallele.**



Or se prendiamo due corpi A, B (*fig. 14*) e li sospendiamo ai punti m ed n mercè i fili mt ed ns, troveremo facilmente, qualora i punti di sospensione non sieno lontani tra loro, che le direzioni dei fili son parallele; e poichè secondo le stesse direzioni la gravità sollecita i due corpi A e B, così nei gravi sospesi e separati da piccolo intervallo abbiamo un esempio di forze parallele, di cui vogliamo giovarci per dichiarare sperimentalmente le leggi di composizione di esse forze.

fig. 15.



Risultante di due forze parallele. 29. A tal uopo si prenda una verghetta metallica od anche un bastoncino di legno ab (*fig. 15*), e dopo averne divisa la lunghezza in un certo numero di parti eguali, in quattro per esempio, si fermi al 1° quarto c il capo di un filo, che passando per la gola della girella fissa h, porti sospeso nell'altro capo s un piattello di bilancia, che insieme alla sua carica pesi quanto il bastoncino ab. Così questo rimarrà sospeso ma inclinato coll'estremità b verso l'orizzonte: ma non sarà difficile trovare qual peso g ed a qual punto del braccio ac dovrà essere sospeso, perchè accresciuta anche di g la carica del piattello k, il bastoncino possa rimanere in una posizione orizzontale, come ce lo presenta la figura.

Aggiustato così l'apparecchio, si proceda all'esperimento che segue. Nei punti *a* e *d*, equidistanti da *c*, si sospendano due pesi eguali *m* ed *n*, e se ne aggiungano altrettanti al piattello *k*; si troverà che l'equilibrio di *ab* non ne verrà turbato. Ciò dimostra che l'azione dei pesi *m* ed *n* è stata equilibrata dall'egual somma di pesi aggiunti a *k*. Ma questo aumento di carica dato al piattello agisce secondo *ch*; dunque i pesi *m* ed *n* han dovuto dare una risultante eguale alla loro somma e diretta secondo il prolungamento *cz* del filo *hc*. E poichè la direzione di questo filo è parallela (n° 28) a quelle dei fili *am* e *dn*, è chiaro che a queste rette sarà parallela ancora la *cz*. Laonde:

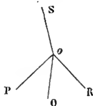
La risultante di due forze parallele, e dirette per un medesimo verso, è eguale alla loro somma e parallela alle loro direzioni.

Se in vece di sospendere in *d* il peso *n* eguale ad *m*, si fosse sospeso in *e* il peso *p* metà di *m*, o pure in *b* il peso *q* terza parte di *m*, e che si fosse dato al piattello un aumento di carica eguale alla somma di pesi pendenti da *ab*, questo bastoncino sarebbe restato egualmente in equilibrio; vale a dire che la risultante, una volta eguale alla somma $m+\frac{1}{2}m$, un'altra volta eguale alla somma $m+\frac{1}{3}m$, sarebbe stata costantemente diretta secondo la *cz*. Ma la *ce* è doppia di *ca*, e la *cb* n'è tre volte maggiore; dunque la direzione *cz* della risultante ha diviso la congiungente *ab* dei punti di applicazione delle componenti, in parti reciprocamente proporzionali alle loro intensità. Quindi se le componenti sono eguali, la risultante, come è avvenuto nel primo sperimento, dividerà per mezzo la congiungente i loro punti di applicazione.

Aggiungendo quest'ultima relazione a quelle enunciate nella legge di sopra espressa, avremo che:

La risultante di due forze parallele, dirette per un medesimo verso, pareggia la loro somma, è parallela alle loro direzioni, e divide la congiungente i loro punti di applicazione in parti reciprocamente proporzionali alle loro intensità.

fig. 16.



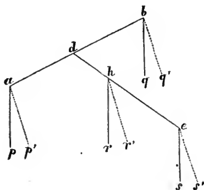
Passiamo ora a considerare due forze parallele agenti in opposte direzioni, servendoci all'uopo del principio, già precedentemente ammesso, che quando più forze a vicenda si fanno equilibrio, ognuna di esse dev'essere eguale ed opposta alla risultante di tutte le altre. Poniamo, a modo di esempio, che le quattro forze OP, OQ, OR, OS agenti sul punto O (*fig. 16*), si facciano equilibrio, vale a dire che sotto la loro azione il punto O non concepisca verun movimento. Prendendo tre qualunque di esse, e sieno OP, OQ, OR, e componendole colla regola del parallelogrammo, è chiaro che non potrà darsi equilibrio, se la loro risultante non riesca eguale ed opposta alla quarta forza OS.

Applicando questo principio all'equilibrio delle forze che nella *fig. 15* sono rappresentate dai pesi eguali m ed n e dall'aumento $m+n$ dato alla carica del piattello k, troveremo non solamente, come sopra abbiamo veduto, che la risultante delle azioni esercitate dai pesi m ed n debba essere eguale ed opposta all'accrescimento $m+n$ prodotto nella tensione del filo ch, ma che l'azione del peso n dovrà essere eguale ed opposta alla risultante dell'azione del peso m diretta secondo am, e della tensione $m+n$ diretta secondo ch. Così ancora troveremmo che l'azione del peso q dovrà similmente essere eguale ed opposta a quella del peso m e della tensione $m+q$, ecc. Ma le azioni del peso m e della tensione $m+n$, quelle dello stesso peso m e della tensione $m+q$, sono parallele e dirette per verso contrario; e quelle dei pesi n e q che sono eguali ed opposte alle rispettive risultanti, si trovano ancora parallele alle componenti ed eguali alle loro differenze; dunque:

La risultante di due forze parallele, agenti in opposte direzioni, è eguale alla loro differenza, parallela alle loro direzioni, ed agisce pel verso della forza maggiore, dalla quale tanto più si allontana, per quanto più piccola è la differenza delle forze date.

Or se la risultante di due forze parallele, dirette per contrario verso, deve pareggiare la loro differenza, ne segue che se le forze date sono eguali, la loro risultante sarà nulla, senza che vi sia equilibrio. Questo caso speciale delle forze parallele vien distinto col nome di *coppia*; e bentosto vedremo qual sia il suo modo di azione.

fig. 17.



30. Supponiamo che ai punti *a*, *b*, *e* (*fig.* 17) invariabilmente uniti tra loro, sieno applicate le forze parallele P, Q, S. Dividendo la retta *ab*, che unisce i punti di applicazione delle forze P e Q, nelle due parti *bd*, *ad*, che sieno nella ragione di P a Q, sarà *d* il punto di applicazione della loro risultante P+Q. Similmente col dividere la *de* nelle parti *eh* e *dh*, proporzionali a P+Q ed S, si avrà il punto di applicazione *h* della loro risultante R=P+Q+S. E nello stesso modo si continuerebbe la costruzione, se il numero delle forze componenti fosse maggiore di tre. Risultante di un numero qualunque di forze parallele.

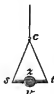
Potremo dunque conchiudere in generale:

La risultante di un numero qualunque di forze parallele, tutte dirette per un medesimo verso, è sempre eguale alla somma delle forze componenti e parallela alla loro comune direzione.

Centro delle forze parallele.

31. Nel determinare il punto d (*fig. 17*) in cui la risultante delle forze parallele P e Q incontra la congiungente ab dei loro punti di applicazione, non si è tenuto conto delle loro speciali direzioni; ed altrettanto si è fatto nella determinazione del punto h, in cui la risultante delle tre forze date incontra la de. Se veramente i punti d ed h sono indipendenti dalle speciali direzioni delle forze, purchè queste si conservino parallele ed agenti per un medesimo verso, allora le tre forze P, Q, S girando intorno ai loro punti di applicazione potranno prendere le nuove direzioni parallele P′, Q′, S′, e la loro risultante dirigendosi secondo R′, passerà tuttavia per lo stesso punto h.

fig. 18.



È chiaro che questo teorema sarà vero per un numero qualunque di forze parallele, qualora lo sia per due sole. E per provare che realmente ha luogo per due forze parallele, ci serviremo dello stesso apparecchio indicato dalla *fig. 15*, facendo però che la sospensione in c abbia luogo mercè un secondo filo set, (*fig. 18*) fermato nei capi estremi ad un piccolo asse orizzontale st, intorno al quale sia mobilissimo il bastoncino ab, che n'è attraversato perpendicolarmente, e perciò nella *fig.* non se ne vede che la sezione zv. E similmente debbono supporsi ordinati i punti di sospensione dei diversi pesi.

Coll'apparecchio così modificato troveremo che l'equilibrio tra i pesi m, n e l'aumento $m+n$ dato alla carica del piattello k, avrà sempre luogo, qualunque sia l'inclinazione che faremo prendere ad ab rispetto ai fili di sospensione dei pesi m ed n.

Dunque per ogni sistema di forze parallele, che non sia una coppia, esiste realmente un punto pel quale passerà sempre la risultante del sistema: a questo punto si è dato il nome di *centro delle forze parallele*.

Momento di una forza.

32. Ritorniamo all'apparecchio indicato dalla *fig. 15*, ed aggiustato nel modo anzidetto; soltanto aggiungiamo che il filo ch sia fermato ad un punto fisso h, in vece di piegarsi intorno alla gola di una girella.

Supponendo il braccio cb triplo di ac, sappiamo che un peso m sospeso in a, ed un peso tre volte minore so-

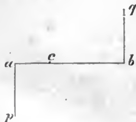
speso in *b*, debbono a vicenda equilibrarsi. Or se togliamo di mezzo il peso *q*, il bastoncino *ab* girerà intorno al suo asse di rotazione, elevando l'estremità *b* ed abbassando l'altra fino a porsi per dritto col filo di sospensione del peso *m*; altrettanto avverrebbe ma per opposta direzione, se si portasse via il peso *m*. Quindi l'equilibrio che ha luogo nell'azione simultanea dei due pesi dimostra che l'energia con cui il peso *m* farebbe rotare il bastoncino per un verso, rimane distrutta da quella che il peso *q* tende a produrre pel verso opposto.

Or l'energia con cui una forza tende a produrre rotazione intorno ad un asse, si appella *momento*; quindi nel fatto qui sopra considerato, dovremo dire che i momenti dei pesi *m* e *q* sono eguali ed opposti.

Considerando poi che il peso *q*, 3ª parte di *m*, non potrebbe a questo peso far equilibrio, se per avventura non si trovasse sospeso ad una distanza tripla, noi veniamo a conoscere che il momento di una forza deve variare in ragione della distanza della sua direzione dall'asse di rotazione. E poichè il momento deve seguire ancora la ragione della grandezza della forza, così dovremo dire che: *Il momento di una forza vuol essere misurato dal prodotto della grandezza della forza per la distanza della sua direzione dall'asse di rotazione.*

33. Due forze P e Q, (*fig. 19*) parallele, eguali ed opposte, applicate ai punti *a* e *b* invariabilmente uniti tra loro, sappiamo (nº 29) che non ammettono risultante, e perciò non possono spingere la retta *ab* a muoversi parallelamente a sè stessa, nè pel verso della forza P, nè per quello della forza Q. Momento di una coppia.

fig. 19.



Ma se immaginiamo che la retta *ab* sia mobile intorno al punto c, allora la forza P la spingerà a rotare col momento:

P moltiplicata per *ac*,

e la forza Q col momento:

Q moltiplicata per *bc*.

E poichè le due rotazioni vanno per un medesimo verso, così i due momenti si comporranno in un solo, espresso dalla somma:

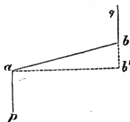
P moltiplicata per *ac* + Q moltiplicata per *bc*.

Ma le forze P e Q sono eguali; dunque la somma dei momenti si riduce al prodotto della forza P moltiplicata per la somma di *ac* e *cb*, ossia al momento: P moltiplicata per *ab*.

La retta *ab*, che si suppone perpendicolare alle direzioni delle forze, dicesi *braccio di leva* della coppia. Quindi il teorema:

Il momento di una coppia è dato dal prodotto del suo braccio di leva per una delle due forze che la compongono.

fig. 20.



Se la congiungente i punti di applicazione delle forze componenti una coppia, fosse (come nella *fig. 20*) obbliqua alle loro direzioni, allora in vece di *ab* si prenderebbe la *ab'*, perpendicolare alle direzioni di P e Q, come braccio di leva della coppia formata da queste due forze.

IV.

Centro di gravità.

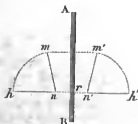
Direzione della gravità — La gravità è indipendente dalla natura dei corpi — Esistenza di un centro di gravità — Equilibrio dei gravi sospesi o sostenuti — Diverse specie di equilibrio.

Direzione della gravità. 34. Abbiamo detto nel n° 28 potersi facilmente verificare che i fili di sospensione dei gravi, quando sieno separati da piccolo intervallo, son parelli; e che in conse-

seguenza nelle piccole distanze orizzontali la gravità spinge i corpi per direzioni parallele. Ma se i gravi fossero sospesi a grandi distanze, i loro fili di sospensione sarebbero ancora paralleli?

Perchè l'esperienza ci ponesse in grado di poter rispondere a questa dimanda, ci è necessario conoscer la legge secondo la quale le immagini degli oggetti vengono riprodotte dagli specchi piani.

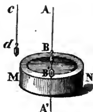
fig. 21.



Rappresenti AB (*fig. 21*) il profilo di uno specchio piano, a cui sia presentato un filo rettilineo *mn*: la sua immagine *m'n'* apparirà situata dal lato opposto dello specchio ed in giacitura simmetrica a quella dell'oggetto, vale a dire che i punti corrispondenti dell'oggetto e della sua immagine, come *m* ed *m'*, *n* ed *n'*, staranno sopra una stessa perpendicolare ed egualmente distanti dalla superficie dello specchio.

Quindi se il filo girasse intorno alla sua estremità *n* fino a collocarsi nella direzione *hn* perpendicolare al piano dello specchio, la sua immagine *m'n'* dovrebbe fare altrettanto e collocarsi in *h'n'* perpendicolarmente allo stesso piano; e così filo ed immagine giacerebbero sopra una medesima linea retta. In conseguenza se potremo assicurarci che un filo rettilineo e la sua immagine prodotta da uno specchio piano, si trovano a giacere sopra una stessa linea retta, allora saremo certi che la direzione del filo sarà perpendicolare alla superficie dello specchio.

fig. 22.



Premesse queste nozioni veniamo al seguente sperimento. Sopra una vaschetta MN (*fig. 22*) solidamente poggiata e piena di mercurio, sospendiamo il filo a piombo AB; la superficie del mercurio ci offrirà un ottimo specchio piano, da cui vedremo riverberata l'immagine B'A' di quel filo. Sospendendo a piccola distanza un secondo filo CD, e ponendoci a guardare in modo che la vista del filo CD ci occulti quella di AB, troveremo occultata ancora quella dell'immagine B'A'. Questa dovrà dunque giacere nel piano definito dei due fili paralleli AB e CD. Girando intorno alla vaschetta fermiamo il filo CD ad un altro punto di sospensione, e ripetiamo la prova: troveremo egualmente che quando il filo CD c'impedirà di vedere AB, c'impedirà ancora di vedere l'immagine B'A'; in conseguenza questa immagine e l'oggetto AB si troveranno nel secondo piano determinato dal filo AB e dalla nuova giacitura del filo CD. Ma AB e B'A' debbono giacere ancora nel primo piano da noi considerato; dunque staranno nella intersezione dei due piani. La quale dev'essere una linea retta; ed essendo AB in linea retta con B'A', sarà AB perpendicolare alla superficie del mercurio.

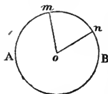
Abbiamo preferito questo liquido ad ogni altro, perchè opaco e fa in conseguenza veder meglio le immagini riflesse dalla sua superficie. Ma con un liquido diverso si sarebbe ottenuto lo stesso risultamento; e poichè la direzione di un filo a piombo ci rappresenta quella della gravità nel luogo in cui il filo sta sospeso, così potremo conchiudere in generale che:

La direzione della gravità in ogni punto della superficie terrestre è perpendicolare alla superficie di qualsiasi liquido ivi stagnante.

La direzione della gravità sarà dunque perpendicolare alla superficie del mare, la quale non è che la superficie terrestre sgombera di tutte le ineguaglianze. Or il nostro pianeta ha forma presso che sferica, ed è proprietà di una sfera che le perpendicolari condotte ai diversi punti

della sua superficie vadano tutte a concorrere nel suo centro. Ma perchè la terra non è esattamente sferica, così diremo che le direzioni della gravità sono *presso che concorrenti* nel centro di essa.

fig. 23.



Or consideriamo nel circolo AB (*fig.* 23) un meridiano o qualunque altro circolo massimo descritto sulla superficie della terra, e prendiamo in esso i punti m ed n. In questi punti le direzioni della gravità saranno approssimativamente rappresentate dai raggi mo ed no, i quali comprendono l'angolo mon, la cui grandezza è definita dall'arco mn. Ma è noto che un grado terrestre, ossia la 360ª parte del circolo AB, è lungo 60 miglia; dunque due fili a piombo dovranno essere 60 miglia lontani l'uno dall'altro, perchè le loro direzioni facciano tra loro il piccolo angolo di un grado. Quindi si comprende perchè due gravi sospesi a piccolo intervallo, ci presentino paralleli i loro fili di sospensione.

35. Nel determinare le leggi della libera discesa dei gravi nel vuoto, abbiamo tacitamente ammesso che tutti i corpi vi cadessero colla stessa velocità. Ma questo principio, anzichè una supposizione, è un fatto veduto la prima volta da Galilei, mentre i dotti del suo tempo insegnavano che i corpi dovessero cadere con velocità proporzionali ai loro pesi. E per convalidare questo suo concetto egli lasciò cadere dall'alto della Torre di Pisa varie palle di egual diametro e diversa sostanza, e fece osservare che mentre le palle più pesanti battevano sul suolo, la più leggiera era prossima a raggiungerlo. Egli vide la cagione di quel piccolo ritardo nella maggior perdita di velocità patita dalla palla più leggiera nel vincere la resistenza dell'aria; e la macchina pneumatica più tardi inventata, offrì il mezzo, come in seguito diremo, di verificare l'esattezza di questa spiegazione.

La gravità è indipendente dalla natura dei corpi.

Sappiamo (nº 18) che i corpi per potersi muovere con eguali velocità debbono aver forze proporzionali alle loro masse; in conseguenza se i gravi scendono nel vuoto con

velocità eguali, bisogna dire che la gravità li spinge proporzionatamente alle loro masse, o in altri termini, che la gravità sia la stessa in tutte le minime particelle di materia.

Or se avviciniamo questo concetto all'altro della gravità agente per direzioni parallele nelle piccole distanze, vedremo che riguardando i corpi semplicemente come gravi, dovremo considerarli quali gruppi di punti materiali, animati da forze parallele eguali.

Centro di gravità.

36. Sappiamo (n° 31) che i sistemi di forze parallele, dirette per un medesimo verso, ammettono sempre un *centro*, ossia un punto, pel quale passerà sempre la loro risultante, comunque le direzioni di esse forze riescano inclinate alle congiungenti i loro punti di applicazione. Or la gravità spinge le minime particelle di un corpo per direzioni tra loro parallele e procedenti per un medesimo verso; dunque per ogni corpo vi dev'essere un punto, per cui passerà costantemente la risultante delle azioni che la gravità esercita sulle sue minime particelle.

Questo punto si denomina *centro di gravità*, e la risultante di esse forze costituisce il *peso* del corpo. Dimodochè tra *gravità* e *peso* di un corpo evvi la stessa differenza che si trova fra *componente* e *risultante* di un sistema di forze parallele, eguali e dirette per un medesimo verso.

La determinazione del centro di gravità di un corpo, che sia fisicamente omogeneo e che abbia una figura geometricamente definita, è un problema matematico la cui soluzione appartiene alla Meccanica razionale. Alla Fisica è sufficiente il conoscerne l'esistenza.

Equilibrio dei gravi sospesi o sostenuti.

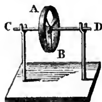
37. Poichè la direzione della gravità in un luogo qualunque si confonde colla rispettiva verticale, e la risultante delle sue azioni sulle minime particelle di un corpo passa sempre pel centro di gravità di esso corpo, ne segue che un grave sospeso, allora potrà rimanere in equilibrio, quando la verticale menata pel suo centro di gravità vada ad incontrare il punto di sospensione.

Se poi il grave sia sostenuto, sarà d'uopo distinguere se lo sia per un punto solo o per più punti. Nel primo caso l'equilibrio del grave richiederà che la verticale me-

nata pel suo centro di gravità incontri il punto di sostegno; nel secondo basterà che essa incontri in qualche punto interiore la superficie del poligono definito dai punti di sostegno.

Dietro queste norme comprenderemo agevolmente — 1° Perchè il muratore osservi spesso col suo filo a piombo se le facce del muro che costruisce, vadano elevandosi verticalmente — 2° Perchè una carrozza più alta sia più facile a ribaltare di un'altra che sia più bassa — 3° Perchè nel camminare siamo costretti ad inclinare il nostro corpo ora a dritta ed ora a sinistra, e perchè un piccolo ostacolo che fermi temporaneamente la punta del piede levato in alto per dare un passo, sia sufficiente a farci stramazzare.

fig. 24.



38. Immaginiamo una ruota AB (*fig. 24*) che per mezzo del suo asse CD riposi su due sostegni; e poniamo che il centro di gravità della ruota si trovi sull'asse geometrico del cilindro CD. È chiaro che facendo girare la ruota di una quantità qualunque, essa non farà che passare da una posizione di equilibrio ad un'altra, imperocchè il suo peso si troverà sempre applicato ad un punto dell'asse geometrico, intorno al quale girano realmente la ruota ed il cilindro CD. Diverse specie di equilibrio.

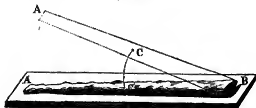
fig. 25.



Questo modo di equilibrio, che si conserva nei varii cangiamenti di positura del corpo, si distingue col nome di *equilibrio indifferente*. Nell'esempio qui recato il centro di gravità rimane immobile mentre il corpo gira; ma quel centro potrebbe ancora muoversi, e l'equilibrio durar tuttavia ad essere indifferente. Poniamo che sul piano orizzontale BC (*fig. 25*) riposi la palla A fisicamente omogenea ed avente in conseguenza il suo centro di gravità in quello di figura. Così la verticale *om*, menata dal suo centro di gravità incontrerà sempre il piano nel punto in cui sarà toccato dalla palla,

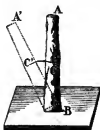
ed in conseguenza facendola rotolare sul piano non si farà che menarla da una posizione di equilibrio ad un'altra. Fa d'uopo intanto osservare che il centro di gravità movendosi insieme alla palla, non si eleva nè si abbassa di qualsiasi piccola quantità, stante che la sua distanza dal piano è sempre eguale al raggio della palla.

fig. 26.



Facciamoci a considerar similmente una trave AB (*fig. 26*) distesa sopra un piano orizzontale. Se sollevandola per l'estremo A, sia messa nella posizione A'B e poi lasciata a sè stessa, la vedremo ricadere sul piano. Ecco un equilibrio al quale il corpo tende ritornare, tosto che ne sia allontanato, e che perciò va distinto col nome di *equilibrio stabile*. E si osservi che la trave non può esser rimossa dallo star tutta distesa sul piano, senza che il suo centro di gravità s'innalzi; dimodochè nell'equilibrio stabile di un corpo il suo centro di gravità si trova ad occupare il luogo più basso che sia possibile.

fig. 27.



Or immaginiamo che la trave in vece di giacer distesa sul piano, vi stia verticalmente eretta (*fig. 27*). Se da questa posizione la rimoviamo facendola girare intorno a qualche punto del contorno della sua base, e la portiamo a star inclinata in A'B, è chiaro che non potrà rimanervi in equilibrio, ma in vece di ritornare alla prima posizione, se ne allontanerà sempre più fino a cader distesa sul piano. Questo modo di equilibrio, da cui un corpo, tosto che ne sia

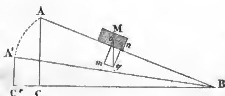
rimosso, tende a vieppiù discostarsene, ha ricevuto il nome di equilibrio *instabile*. In esso il centro di gravità del corpo occupa il luogo possibilmente più alto, imperocchè lo si vedrà discendere, ogni volta che ne sia allontanato.

V.

Discesa dei gravi per piani inclinati e per archi di curve.

Forza che sollecita un grave per un piano inclinato — Discesa dei gravi per linee curve — Il pendolo — Dipendenza della durata di oscillazione dalla lunghezza del pendolo — Isocronismo delle piccole oscillazioni — Pendolo semplice e composto — Misura della gravità.

fig. 28.



39. Rappresenta AB (*fig. 28*) il profilo di un piano inclinato all'orizzonte sotto l'angolo ABC. Da un punto qualunque A del piano inclinato si conduca la verticale AC, questa sarà l'*altezza* del piano, AB ne sarà la *lunghezza* e BC la *base*. **Forza che sollecita un grave per un piano inclinato.**

Immaginiamo lasciato sul piano AB un corpo M, il cui centro di gravità sia nel punto *o*, ed il cui peso potremo (n° 36) riguardare come una forza applicata allo stesso punto, e che spinga il corpo per la verticale *og*. Ponendo che la grandezza di questa forza sia rappresentata dalla lunghezza di *og*, facciamoci a riguardarla (n° 26) come risultante di una forza *om* diretta perpendicolarmente al piano AB, e di un'altra *on* parallela allo stesso piano e giacente in quello definito dalle rette *om* ed *og*. La dire-

zione della componente *om* essendo perpendicolare al piano AB, sarà perpendicolare ancora a tutte le rette che sullo stesso piano si potranno condurre pel punto in cui lo incontra; in conseguenza se l'azione di *om* potesse spingere il corpo per una qualunque di quelle rette, non sapremmo assegnare una ragione perchè non lo spingesse per un'altra qualsiasi delle rimanenti. La componente *om* dunque non potrà far altro che premere il corpo contro il piano; e questo in generale sarà l'effetto di ogni forza agente secondo una perpendicolare ad una data superficie; come viceversa ogni forza che si risolve in una semplice pressione, dovrà essere perpendicolare alla superficie contro cui agisce.

Tolta così di mezzo l'azione della componente *om*, rimane quella della *on* che spingerà il corpo a scendere lungo il piano AB, e la cui relazione alla forza *og* che lo farebbe cadere per la verticale, sarà facilmente definita, qualora si consideri che i triangoli *ong* ed ABC sono di quelli che la Geometria denomina *simili*, e nei quali il rapporto dei lati *on* ed *og* del primo triangolo è lo stesso che quello dei lati AC ed AB del secondo. Vale a dire che:

La forza on *che spinge il grave a scendere pel piano inclinato* AB, *sta a quella che lo farebbe cadere per la verticale, come l'altezza* AC *di esso piano sta alla sua lunghezza* AB.

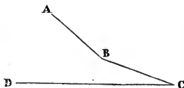
Or se il piano AB, girando intorno alla sua intersezione B coll'orizzonte, prenda la posizione A'B, la sua altezza ne verrà scemata senza che varii la lunghezza; e come sarà diminuito il rapporto di queste due linee, così più piccola diverrà la forza che spingerà il grave a scendere pel piano inclinato. Facendo dunque decrescere l'altezza del piano senza variarne la lunghezza, potremo far diminuire indefinitamente la componente della gravità che spingerà un corpo a scender lunghesso. Quindi si comprende perchè Galilei siasi servito del piano inclinato per verificare le leggi della libera discesa dei gravi nel vuoto, e perchè sovente si faccia uso del piano inclinato per far salire o discendere da una certa altezza un corpo assai pesante. Così le botti di vino si fanno per un piano in-

clinato discendere nelle cantine, ed a piani inclinati si costruiscono le strade che dal basso delle valli debbono menare alle sommità dei monti.

Discesa dei gravi per linee curve.

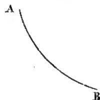
40. Supponiamo che un grave scendendo pel piano AB (*fig. 29*), ne incontri un altro BC che faccia coll'orizzontale CD, un angolo minore di quello formato dal primo. Nel passare dal primo piano al secondo il grave urterà contro quest'ultimo, e farà una perdita di velocità, per la quale arrivando in C non possederà la somma delle velocità acquistate scendendo pei piani AB e BC. E maggiore sarebbe la perdita di velocità se il grave scendesse per tre piani successivi, per quattro ecc.

fig. 29.



Ma se il grave in vece di percorrere una linea spezzata cadendo per una serie di piani inclinati, scendesse per una curva AB (*fig. 30*) giacente in un piano verticale, allora passando in modo continuo dall'uno all'altro degl'infinitesimi latercoli componenti la curva, non patirebbe urto veruno, e non perderebbe in conseguenza alcuna parte della velocità precedentemente acquistata; e questo concetto si trova riformato da considerazioni matematiche, che la natura di quest'opera non ci concede di esporre.

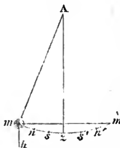
fig. 30.



Se gl'incrementi di velocità che un grave riceve nel passare da un elemento all'altro della curva per la quale discende, fossero tutti eguali, la caduta avverrebbe con moto uniformemente accelerato. Ma siccome gli elementi della curva vanno sempre più inclinati all'orizzonte come scendono più basso, così la forza acceleratrice e l'incremento di velocità che n'è l'effetto vengono scemando a grado a grado, ed il grave discende con un moto accelerato sì, ma non uniformemente.

Il pendolo. 41. Un esempio di grave costretto a scendere per un arco di curva ce l'offre un globetto sospeso ad un filo, e che allontanato dal suo luogo di equilibrio, venga poi abbandonato a sè medesimo. Il globetto sospeso costituisce un *pendolo*, e con questa denominazione può esser disegnato ogni corpo sospeso, e mobile intorno al punto di sospensione.

fig. 31.



Sia A (*fig. 31*) il punto da cui penda il globetto *m* che supponiamo allontanato dalla verticale Az per l'angolo *m*Az. Se allora il grave venga abbandonato a sè stesso, non potrà rimanere in equilibrio, stante che la direzione *mh*, parallela ad Az, per la quale la gravità lo spinge a scendere, e la resistenza del filo diretta secondo *m*A, formano tra loro un angolo, e quindi avrà luogo una risultante che solleciterà il grave a scendere per l'arco *mz*; e le due linee rappresentanti la direzione della gravità e la resistenza del filo formeranno sempre un angolo, finchè non riescano direttamente opposte quando il grave sarà giunto nel punto *z*. In questo punto esso troverebbe il suo luogo di equilibrio, se la velocità acquistata nello scendere per l'arco *mz*, non l'obbligasse a salire per l'arco *zm'*. E per vedere fino a qual punto dovrebbe salire nell'ipotesi che veruna resistenza gli si opponesse, conduciamo pel punto *m* l'orizzontale *mm'* nel piano dell'angolo *m*Az; indi dividiamo i due archi eguali *mz* e *zm'* in elementi piccolissimi mercè le orizzontali *nn'*, *ss'*, ecc. Tutti questi elementi risulteranno a due a due eguali ed egualmente inclinati all'orizzonte. Poniamo che *sz* sia l'ultimo elemento che il grave dovrà percorrere per arrivare al punto *z*, e *zs'* quello che gli corrisponde sull'arco *zm'*; essendo questi due elementi eguali ed egualmente inclinati all' orizzonte, è chiaro che di quanto si accrescerà la velocità del grave scendendo per l'elemento *sz*, altrettanto se ne perderà nella salita per *zs'*. Acquisti e perdite consimili dovendo aver

luogo nel moto del pendolo per le rimanenti porzioni eguali e simmetriche dei due archi, determinate dalle parallele infinitamente vicine *nn'*, *ss'*, ecc. si vede che la velocità acquistata dal grave nello scendere per l'arco *mz*, qualora non si opponesse veruna resistenza, non potrebbe trovarsi interamente distrutta che nell'estremità *m'* dell'arco di salita. Ivi il grave avrebbe una velocità nulla, e di là poi moverebbe scendendo per *m'z* per quindi salire per *zm*; e questo alternativo movimento di discesa e salita, che si denomina *oscillazione*, sarebbe perpetuo.

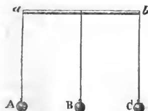


fig. 32.

Ma due resistenze vi si oppongono, le quali facendo continuamente diminuire le ampiezze degli archi di oscillazione di un pendolo, lo riducono finalmente al riposo. Una delle resistenze gli viene dall'aria, e la prova n'è facile. Ad un'asta *ab* (*fig. 32*) orizzontalmente fissata si sospendano con fili egualmente lunghi tre globetti di egual diametro A, B, C; il 1° di ottone, il 2° di legno, il 3° di sughero. Si allontanino egualmente i tre globetti dalle loro verticali di equilibrio, e si badi a far riuscire paralleli i loro piani di oscillazione; e si vedrà che il moto di oscillazione cesserà prima nel globetto di sughero, indi in quello di legno, e finalmente in quello di ottone. Or sappiamo (n° 21) che sotto eguali figure il corpo più leggiero è quello che perde maggior dose di velocità nell'attraversare un dato mezzo; quindi comprendiamo perchè il globetto di sughero sia stato il primo a riposarsi, e quello di ottone l'ultimo.

La seconda resistenza si trova nell'attrito del filo contro il corpo a cui è sospeso; e perciò nelle ricerche eseguite col pendolo per determinare il valore della gravità, oltre ad usare una palla di platino, corpo di ogni altro più pesante, la sospensione si è fatta per mezzo di un prisma di acciajo che giaceva con uno dei suoi spigoli sopra una lamina levigatissima di agata. Così la resistenza

dell'aria e quella del punto di sospensione ne vennero grandemente attenuate.

Dipendenza della durata di oscillazione dalla lunghezza del pendolo.

42. Supponendo che il pendolo sia ridotto ad una semplice molecola pendente da un filo che non pesi, i matematici han dimostrato che le durate di oscillazione di simili pendoli per archi piccolissimi debbono variare come le radici quadrate delle loro lunghezze. Dimodochè se un pendolo così fatto impiegasse la durata di un secondo per compiere una sua oscillazione, un altro pendolo consimile, la cui oscillazione si volesse far durare due secondi, dovrebbe avere una lunghezza quattro volte più grande.

Volendo con esperimenti verificare questa legge, fa d'uopo servirsi di pendoli che somiglino per quanto è possibile a quello ideato dai matematici. Ne faremo dunque con palle di platino sospese a fili leggieri e piuttosto lunghi. Preparati così due pendoli, uno lungo 1 metro e l'altro 4 metri, si allontanino di angoli eguali ed abbastanza piccoli dalle loro verticali di equilibrio, e con un buon orologio si misuri il tempo che ciascun pendolo impiegherà per compiere un certo numero di oscillazioni: si troverà che il tempo impiegato dal pendolo lungo 1 metro è metà di quello richiesto dal pendolo di 4 metri.

Isocronismo delle piccole oscillazioni.

43. Quando siasi avuta cura di attenuare sufficientemente l'attrito al punto di sospensione, un pendolo, quale l'abbiamo descritto nel n° precedente, potrà fare parecchie centinaja di oscillazioni prima di ridursi al riposo. Si metta dunque in moto un simile pendolo con allontanarlo di un piccolo angolo della sua verticale, e si misurino i tempi che esso impiegherà per compiere il 1° centinajo di oscillazioni, il 2° centinajo, il 3° ecc.: tutti questi tempi si troveranno eguali tra loro. Or siccome le resistenze, attenuate ma non distrutte, hanno dovuto a mano a mano restringere le escursioni del pendolo, così l'eguaglianza dei tempi impiegati nel compiere le successive centinaja di oscillazioni dimostra che quando queste si fanno per archi abbastanza piccoli, la maggiore o minor lunghezza dell'arco non influisce sulla loro durata.

Questa legge di altissima importanza pratica e che va sotto il nome d'*isocronismo delle piccole oscillazioni*, è stata scoperta da Galilei a 17 anni, mentre guardava le oscillazioni di una lampada nella Cattedrale di Pisa.

44. Il pendolo che s'immagina formato da una molecola ponderabile pendente da un filo che non pesa, si denomina *pendolo semplice* e non esiste che nella mente dei matematici. Ogni pendolo attuabile deve necessariamente contenere numero grandissimo di molecole, in conseguenza altrettanti pendoli semplici, e perciò va sotto il nome di *pendolo composto*. Pendolo semplice e composto.

fig. 33.



Immaginiamo un solido (*fig. 33*) che possa liberamente oscillare intorno ad un asse orizzontale *ab*. Allontanato dalla sua verticale di equilibrio e poi abbandonato a sè stesso, il solido farà un certo numero di oscillazioni in un dato tempo, ed in conseguenza le sue molecole, qualunque sieno le loro distanze dall'asse di rotazione, vale a dire qualunque sieno le lunghezze dei pendoli che esse costituiscono, moveranno con una stessa celerità di oscillazione, o come suol dirsi, avranno tutte una stessa *celerità angolare*. Ma la cosa sarebbe andata assai diversamente se le molecole del solido, libere dai vicendevoli legami della coesione, non fossero state che pendenti dall'asse *ab*: allora per la legge esposta nel n° 42 le molecole più vicine all'asse avrebbero oscillato più rapidamente di quelle che ne sono più lontane. Se dunque unite insieme han potuto compiere egual numero di oscillazioni in un dato tempo, bisognerà dire che le molecole più vicine all'asse sono state costrette a rallentare e le più lontane ad accelerare quel movimento di oscillazione che avrebbero avuto, se le une fossero state indipendenti dalle altre. La qual cosa ci obbliga a conchiudere che vi saranno state delle molecole che non avranno patita verun' alterazione nella celerità angolare, risultante dalla loro distanza dall' asse di rotazione. Queste molecole dovranno giacere sopra una retta *a'b'* parallela ad *ab*, e che vien detta *asse di oscillazione*; ed il punto in cui essa incontra il piano menato pel centro di gravità del corpo perpendicolarmente all' asse *ab*, si denomina *centro di oscillazione*.

Se dunque ogni molecola giacente sull' asse di oscilla-

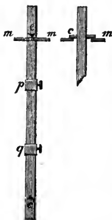
7

zione $a'b'$ di un dato pendolo si muove colla stessa celerità angolare che avrebbe avuta se avesse formato un pendolo semplice, lungo quanta è la distanza che corre tra gli assi ab ed $a'b'$; è chiaro che le leggi trovate dai matematici rispetto ai pendoli semplici, si potranno immediatamente applicare a qualsiasi pendolo composto, purchè all'effettiva lunghezza del pendolo sostituiscasi la distanza che separa il suo asse di oscillazione da quello di rotazione.

La determinazione del centro di oscillazione di un corpo omogeneo di data figura è un problema matematico la cui soluzione non potremmo qui esporre senza passar oltre i limiti di quest'opera. Non possiamo pur tuttavia dispensarci dall'indicare alcuni importanti risultamenti ottenuti mercè la soluzione matematica di questo problema.

1°. L'asse di rotazione e quello di oscillazione possono scambiarsi a vicenda. Così se $a'b'$ (*fig. 33*) è l'asse di oscillazione quando il pendolo è sospeso all'asse ab, sarà questo viceversa l'asse di oscillazione quando il pendolo sia sospeso ad $a'b'$.

fig. 34.



Su questa proprietà dell'asse di oscillazione è fondata la costruzione del *pendolo riversibile* o *pendolo di Kater*. Si compone di un'asta parallelepipeda di metallo (*fig. 34*) sulla quale sono scorrevoli gli anelli p e q, e vi sta introdotto per traverso il prisma c di acciaio temperato, che poggiando su due lamine levigatissime, mm, tiene sospesa l'asta del pendolo. Facendolo oscillare insieme ad un piccolo globetto metallico sospeso a sottilissimo filo, la cui lunghezza si farà variare finchè non si ottenga il sincronismo dei due pendoli, si avrà un valore approssimato della distanza dell'asse di oscillazione dello spigolo del prisma c. Ad eguale distanza se ne porrà un secondo in c'; indi si farà successivamente oscillare il pendolo intorno ai due prismi

c e c′, e se le durate di oscillazione intorno ai due prismi di sospensione non risulteranno eguali, se ne cercherà l'eguaglianza mercè lo spostamento degli anelli *p* e *q*. La quale ottenuta, saremo certi che la lunghezza del pendolo semplice, sincrono al pendolo dato, sarà eguale alla distanza che passa tra gli spigoli di sospensione dei due prismi.

2°. Il centro di oscillazione è sempre più lontano dall'asse di rotazione, di quel che lo è il centro di gravità del pendolo. Ed a misura che questa seconda distanza si farà più piccola, l'altra diverrà più grande; dimodochè il centro di oscillazione si troverà ad una distanza infinitamente grande, quando l'asse di rotazione si farà passare pel centro di gravità del pendolo.

3°. Adoperando come pendolo una palla metallica sospesa ad un filo, si troverà che il centro di oscillazione si avvicinerà tanto più al centro della palla, per quanto il filo sarà più lungo. Quindi si comprende perchè, volendo verificare con esperimenti la legge della durata di oscillazione proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del pendolo semplice, abbiamo raccomandato (n° 42) di usar fili di sospensione piuttosto lunghi.

45. Tra le leggi della discesa dei gravi (n° 22) vi è quella che se ad un dato punto della discesa la forza acceleratrice cessasse di agire, il grave per la velocità acquistata percorrerebbe in altrettanto tempo e con moto uniforme uno spazio doppio del già percorso. Questo spazio, qualora la caduta sotto l'azione della forza acceleratrice sia durata un solo secondo, sarà l'espressione della velocità acquistata dal grave nello stesso tempo, e lo potremo ritenere come misura della forza di gravità. Or la lunghezza di questo spazio si ottiene facilmente mercè la determinazione della durata di oscillazione di un pendolo per archi piccolissimi. **Misura della gravità.**

Poniamo che l'esperimento sia stato fatto con un pendolo riversibile; che siasi misurata esattamente la distanza tra i due coltelli di sospensione; e che sia stata determinata la durata di una sua oscillazione. Per definire con questi dati la velocità che nel luogo dell'esperimento un grave acquisterebbe cadendo per un secondo nel vuoto, il calcolo matematico ci dà la seguente regola.

Il numero che esprime la distanza tra i due coltelli di sospensione, (ossia il numero che rappresenta la lunghezza del pendolo semplice sincrono al dato pendolo composto) *si moltiplichi pel quadrato del numero* 3,141 (che rappresenta il rapporto della circonferenza di un cerchio al suo diametro); *si divida l'ottenuto prodotto pel quadrato del numero esprimente la durata di un'oscillazione del pendolo, ed il quoziente darà la richiesta misura.*

Così a Parigi si è trovata, come misura della gravità, la lunghezza di metri 9,809; vale a dire che un grave cadendo ivi nel vuoto per un secondo, acquisterebbe tanta velocità, che conservandola percorrerebbe metri 9,809 in ogni altro secondo. E siccome questo spazio è doppio (nº 22) di quello che realmente sarebbe descritto nel 1º secondo della caduta nel vuoto, così a Parigi un grave nel vuoto percorrerebbe metri 4,904 durante il 1º secondo della sua caduta. Nel capo seguente vedremo che la gravità è varia secondo la latitudine e l'altezza del punto di osservazione.

VI.

Variazione della forza di gravità.

Variazione della gravità secondo la latitudine — Produzione della forza centrifuga — Spiegazione del fatto osservato da Richer — Cagione della depressione polare — Sperimento di Foucault — Variazione della gravità secondo l'altezza del punto di osservazione.

Variazione della gravità secondo la latitudine.

46. Nel 1672 Richer, astronomo francese, moveva da Parigi a Cajenna per farvi alcune osservazioni astronomiche, ed insieme ad altri strumenti all'uopo necessarii egli portava ancora un orologio a pendolo. Si conosceva la dipendenza della durata di oscillazione di un pendolo dall'energia della gravità, ma la tendenza dei corpi a cadere, anzi che attribuirla all'azione di una forza speciale, si preferiva riguardarla come una proprietà dei corpi, ed in conseguenza come qualche cosa d'invariabile. Quindi non si sapeva neppur sospettare che un orologio, rimanendo invariata la lunghezza del suo pendolo, potesse in un luo-

go andar più o meno celere che in un altro. Perciò grandissima meraviglia destò nei fisici di quel tempo la nuova di essersi da Richer osservato a Cajenna un ritardo di 2 minuti primi e 28 secondi al giorno nell' orologio a pendolo che a Parigi batteva i secondi. Egli è vero che il clima di Cajenna, più caldo di quello di Parigi, doveva produrre un maggior allungamento nell'asta del pendolo, purtuttavia la differenza di temperatura, ancorchè fosse stata di 30 gradi, non avrebbe potuto produrre che il ritardo di una decina di secondi al giorno.

Il fatto osservato da Richer poneva dunque fuor di ogni dubbio che la gravità nei luoghi prossimi all' equatore, com'è Cajenna, sia minore che in quelli che ne sono più lontani, qual'è Parigi. E questo fatto ha preso un' alta importanza scientifica, dopochè l'illustre matematico olandese di quel tempo, Cristiano Huygens, ci vide una prova sperimentale del moto di rotazione della terra intorno al suo asse polare. Or per comprendere questo concetto del matematico olandese, fa d'uopo premettere qualche nozione su di una forza, che si appalesa nel moto di rotazione dei corpi e che va distinta col nome di *forza centrifuga*.

fig. 35.



Produzione della forza centrifuga.

47. Prendiamo una piccola secchia, e dopo averla attaccata ad una cordicella abbastanza resistente, versiamoci dell'acqua e poi meniamola in giro a guisa di fionda. In ogni giro vi sarà certamente un' istantanea posizione della secchia, in cui essa terrà il fondo rivolto in alto, (*fig. 35*) senza che perciò l'acqua ne precipiti in basso. Le molecole del liquido si troveranno dunque spinte perpendicolarmente contro il fondo della secchia, nè allora soltanto, ma in tutta l'estensione del giro; imperocchè ripetendo la prova dopo aver fatto un forellino sul fondo del recipiente, si vedrà che in tutto il giro ne scapperà fuori uno zampillo perpendicolare al piano del fondo.

La forza che in tutto il giro della secchia ha spinto le molecole dell'acqua contro il fondo di essa, e che si genera in ogni sorta di moto curvilineo, ha ricevuto il nome di *forza centrifuga*,

come quella che spinge il corpo a fuggire dal suo centro di moto. Questa forza esiste finchè dura la rotazione, ma cessa di esistere appena questa finisce. Così vediamo che lasciando libera una delle due cordicelle di una fionda, la pietra fugge per la tangente *bc* (*fig. 36*) all'estremo *b* dell'arco, in cui allora si arresta il moto circolare della fionda. Quindi è che tutta l'arte del fromboliere sta — 1° In aggirare la fionda in modo che il piano del circolo descritto passi pel punto occupato dal bersaglio — 2° In determinare l'istante in cui la tangente al circolo incontrerà quel dato punto.

fig. 36.



La forza centrifuga varia di grandezza secondo il raggio del circolo che il mobile descrive e secondo la velocità con cui lo percorre. L'influenza del raggio, come i matematici dimostrano, è quella di farla variare inversamente alla sua grandezza, mentre la velocità proporzionatamente al suo quadrato la rende maggiore o minore. Così in due circoli percorsi con eguali velocità, e che l'uno abbia un raggio doppio dell'altro, la forza centrifuga nel circolo di raggio doppio sarà metà di quella che si produce nell'altro; ma se i due circoli avessero uno stesso raggio e che la velocità nell'uno fosse doppia che nell'altro, la forza centrifuga nel primo circolo sarebbe quattro volte più grande che nel secondo.

Or non ogni moto curvilineo è circolare, ma in ogni moto curvilineo vi è produzione di forza centrifuga. Quindi per poter applicare a qualsiasi curva la suddetta legge di variazione della forza centrifuga, bisogna per ogni piccolissimo arco della curva descritta dal mobile, considerare il circolo che con esso si combacia, e perciò denominato *circolo osculatore*; il cui raggio, avendo una stretta dipendenza col grado d'inflessione della curva nel punto corrispondente, ha ricevuto il nome di *raggio di curvatura*. Laonde generalizzando la suddetta legge diremo:

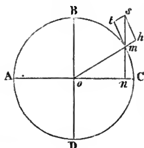
Nei diversi punti della curva descritta da un mobile,

la forza centrifuga è proporzionale direttamente al quadrato della velocità ed inversamente al raggio di curvatura.

Come nella valutazione di ogni altra forza, così ancora nel definire il valore della forza centrifuga bisogna tener conto della massa del mobile. Poniamo, a modo di esempio, che per due curve eguali e con eguali fasi di velocità si muovano due corpi, di cui l'uno abbia una massa decupla di quella dell'altro, sarà la forza centrifuga del primo dieci volte più grande di quella del secondo.

Spiegazione del fatto osservato da Richer.

fig. 37.



48. Rappresenti ABCD (*fig. 37*) un meridiano terrestre, AC il diametro polare, e BD l'intersezione dell'equatore col meridiano. Se la terra gira intorno all'asse AC, tutti i punti del meridiano rappresentato nella figura, descriveranno altrettanti circoli; il punto *m*, per esempio, descriverà un circolo di raggio *mn*. Tutti questi circoli essendo descritti nella durata di un giorno, si moveranno con velocità proporzionali alle lunghezze delle loro circonferenze. Ma la Geometria c'insegna che le circonferenze dei circoli stanno tra loro come i raggi; dunque le velocità dei diversi punti di un meridiano staranno come i raggi dei paralleli a cui appartengono. In conseguenza le corrispondenti forze centrifughe, dovendo seguire la ragion diretta dei quadrati delle velocità e l'inversa dei raggi di curvatura, dovranno riuscire direttamente proporzionali ai raggi di essi paralleli.

Osserviamo inoltre che la forza centrifuga dovendo giacer sempre nel piano del circolo che il mobile descrive, si troverà direttameute opposta alla forza di gravità in tutti i punti dell'equatore, e la pesantezza dei corpi ivi resterà scemata di quanto è la loro forza centrifuga; dimodochè se la terra compisse il suo giro diurno in un tempo 17 volte minore di quello che realmente impiega,

i corpi giacenti sull'equatore non avrebbero alcun peso, e se la celerità di rotazione divenisse anche più grande, i corpi sfuggirebbero dall'equatore come le gocce di acqua dalla mola dell'arrotino.

Su tutti gli altri paralleli poi la forza centrifuga e la gravità si trovano inclinate sotto un angolo che varia colla latitudine del parallelo. Così su quello descritto dal punto *m* la gravità spinge secondo *mo*, mentre la forza centrifuga agisce secondo il prolungamento di *nm*; e ponendo che *ms* ne rappresenti la grandezza, scomponiamola nelle due, *mh* secondo il prolungamento del raggio *om*, ed *mt* secondo la tangente al meridiano; e così troviamo che la sola componente *mh* si oppone all' azione della gravità. In conseguenza la perdita che questa forza soffre pel fatto della rotazione della terra, deve andar decrescendo dall'equatore ai poli, non solamente perchè la forza centrifuga diviene minore come è più piccolo il raggio di un parallelo, ma ancora perchè di essa forza una parte soltanto si oppone a quella della gravità. Or Cajenna dista dall'equatore per meno di 5 gradi, mentre Parigi n'è lontano di meglio che 48 gradi, necessariamente dunque la gravità nel primo luogo doveva trovarsi minore che nel secondo.

Cagione della depressione polare.

49. L'insieme dei fatti che oggi si conoscono relativamente allo stato primitivo del nostro globo, e quindi di tutti gli altri pianeti, ci obbliga ad ammettere che tutti un tempo si trovarono in uno stato fluido per opera d'ingente calore, di cui le eruzioni vulcaniche possono darci una qualche idea. In quello stato essi ebbero a comporsi in figure rotonde, imperocchè le masse fluide, come la Meccanica dimostra e come l'osservazione conferma nei globetti di mercurio e nelle gocce di acqua, tendono a chiudersi in figure sferiche, qualora da forze esterne non sieno disturbate.

Intanto la forza centrifuga, nascente dalla rotazione del pianeta, colla sua componente tangenziale *nt* ne spingeva la materia dai poli all'equatore, e produceva quello schiacciamento polare in tutti osservato, e che è riuscito più o meno grande secondo la maggiore o minor celerità di rotazione dello stesso pianeta. Così vediamo che nella terra,

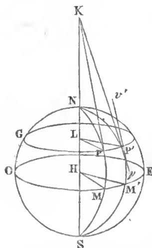
la quale compie la sua rotazione in 24 ore, si è trovata la differenza di circa $\frac{1}{300}$ tra il diametro equatoriale ed il polare, mentre la stessa sale ad $\frac{1}{14}$ nel pianeta Giove, il quale con un volume 1414 volte più grande di quello della terra, assolve un intero giro intorno al suo asse in poco più di 9 ore.

E quantunque la figura della terra sia divenuta stabile mercè la solidificazione degli strati esterni, purtuttavia se il suo moto diurno venisse per avventura ad estinguersi, la gran copia di acqua che la forza centrifuga ha raccolta nel mare della zona tropicale, rifluirebbe verso le regioni polari, sommergendo parecchie coste e lasciando a secco una certa estensione dell'attuale fondo del mare.

Sperimento di Foucault.

50. Se il fatto osservato da Richer ci ha provato che il moto di rotazione della terra realmente esiste, un esperimento ideato ed eseguito da Foucault nel 1851, e che si può sempre ed ovunque ripetere, ce lo rende sensibile all'occhio.

fig. 38.

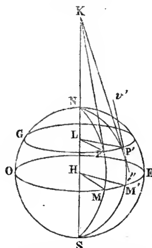


Rappresenti NOSE (*fig. 38*) la terra; e sieno NS l'asse polare, OME l'equatore, GPP' un parallelo, ed NPS, NP'S due successive posizioni di uno stesso meridiano. Immaginiamo che un pendolo stia sospeso sul polo N, e che sia messo in moto nel piano del meridiano NPS; la naturale inerzia lo costringerà a rimaner sempre in uno stesso piano di oscillazione, mentre il meridiano in cui è cominciato il suo moto, va trasportato dalla rotazione della terra da occidente in oriente. E come al navigante sembra che il lido si allontani in opposta direzione al moto della nave, così un ossevvatore situato sul polo vedrebbe il piano del pendolo rotare in opposta direzione al moto della terra e con eguale celerità angolare.

Or supponiamo che il pendolo sia trasportato nel punto P alla latitudine PM, e che ivi cominci ad oscillare nel piano

del meridiano NPS. La linea meridiana del punto P, dovendo risultare dall'intersezione del piano meridiano con quello dell'orizzonte; sarà rappresentata dalla tangente PK menata pel punto P al circolo NPS. Questa tangente sarà dunque compresa nel piano di oscillazione del pendolo; e quando per la rotazione della terra il punto P sarà passato nella prossima posizione P', il piano di oscillazione del pendolo, dovendo rimanere parallelo a sè stesso, passerà per la VV' menata pel punto P' parallelamente alla PK. Ma mentre il punto P passa in P' rotondo per l'angolo PLP', la linea meridiana PK passerà in P'K rotando per l'angolo PKP', eguale all'angolo KP'V' che il piano di oscillazione del pendolo farà col meridiano NP'S. Quel piano dunque ad un osservatore che guardi il sud, apparirà girare pel verso Est, Sud, Ovest, descrivendo l'angolo KP'V'=PKP', mentre il raggio LP del parallelo descrive l'angolo PLP'. Laonde se la celerità dell'apparente rotazione del piano di oscillazione di un pendolo nel polo deve pareggiare quella della terra, essa dovrà riuscire più piccola quando il pendolo si trovi ad una latitudine minore, essendochè gli angoli PKP' e PLP', che senza errore sensibile si possono riguardare insistenti sopra lo stesso arco PP', sono (come la geometria dimostra) in ragione inversa dei raggi PK e PL. Ma per la similitudine dei triangoli PLK e PLH le linee PK e PL sono proporzionali alle linee PH ed HL; in conseguenza indicando con C' la celerità di rotazione del piano di oscillazione del pendolo e con C quella della terra, avremo la proporzione:

fig. 38.



$$C' : C :: HL : PH.$$

Or PH è il raggio terrestre, ed HL rappresenta la di-

stanza del piano del parallelo da quello dell'equatore; la velocità C' risulterà dunque minore, come più piccola sarà la latitudine del punto di osservazione. Da ciò deriva che il piano di oscillazione di un pendolo deve rimanere immobile in tutti i punti della linea equinoziale; la qual cosa risulta ancora dall'esser tutte parallele tra loro le linee meridiane dei diversi punti dell'equatore.

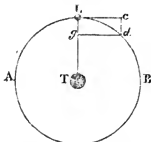
Per attuare l'esperimento di Foucault fa d'uopo servirsi di una palla assai pesante e di un filo di sospensione molto lungo. Mercè la 1ª condizione s'impiccolisce la frazione di forza motrice assorbita dalla resistenza dell'aria, e colla seconda si può dare una grande escursione al moto del pendolo, conservando tuttavia abbastanza piccolo l'angolo del suo primo deviamento dalla verticale; e così le due condizioni concorrono a prolungare per parecchie ore la durata del moto. Il primo sperimento di Foucault fu attuato con una palla di ottone pesante 5 chilogrammi sospesa ad un filo di acciajo lungo 2 metri; e vista la buona riuscita egli si fece a ripetere la prova nell'Osservatorio di Parigi con un pendolo lungo 11 metri. Un terzo sperimento fu poi da lui attuato nel Panteon della stessa città con un pendolo lungo 67 metri, la cui palla pesava 28 chilogrammi. In questi sperimenti, che furono poi ripetuti in diversi luoghi, la palla del pendolo portava impiantata nella sua parte inferiore e secondo il prolungamento del filo di sospensione una punta metallica, la quale faceva meglio rilevare la rotazione del piano di oscillazione.

51. Sappiamo (nº 27) che alla produzione di un moto curvilineo debbono concorrere al minimo due forze, e che di queste una almeno vuol esser forza continua. Or l'osservazione dimostra che la luna si aggira intorno alla terra; essa dunque si muove per una curva, ed una forza continua deve intervenire nella produzione del suo moto. Questa forza continua non può esser altra che la gravità della luna verso la terra; gravità che la ritiene nella sua orbita, non altrimente che la resistenza delle cordicelle impedisce che la pietra sfugga dal giro di una fionda. **Variazione della gravità secondo l'altezza.**

Rappresenti T la terra (*fig. 39*) ed AB sia l'orbita lunare. Se quando la luna rattrovasi in L venisse meno la sua gravità verso la terra, essa sfuggerebbe per la tangente LC; e se viceversa mancasse questa forza tangen-

ziale, la luna cadrebbe verso la terra seguendo la retta LT che unisce i centri dei due pianeti. Poniamo che LD sia l'arco descritto dalla luna nella durata di un minuto primo, e che potremo riguardare come una linea retta. Questo moto risulterà dall'azione di due forze, l'una diretta per la tangente LC, l'altra secondo la congiungente LT; e compiuto il parallelogrammo, saranno LC ed LG le grandezze delle due componenti. In conseguenza se la componente LC rimanesse distrutta, la luna cadrebbe verso la terra e percorrerebbe lo spazio LG nel primo minuto della sua discesa. Newton ha calcolata la lunghezza di quello spazio, e l'ha trovata eguale a 15 piedi parigini, vale a dire eguale al cammino che un grave in vicinanza della terra farebbe nel primo minuto secondo della sua caduta nel vuoto; cammino che ascenderebbe (nº 20) a piedi 15 moltiplicati pel quadrato di 60 se la caduta durasse un minuto primo. Abbiamo dunque che nel primo minuto della loro caduta la luna scenderebbe di 15 piedi, ed un grave in piccola distanza dalla terra ne farebbe 15 moltiplicati pel quadrato di 60. Questi spazii percorsi in tempi eguali, e che sono nella ragione di 1 al quadrato di 60, ci dicono che dove la distanza è di un solo raggio dal centro della terra, la forza di gravità è proporzionale al quadrato di 60, ed ove viceversa la distanza dal centro della terra è 60 volte più grande, come è quella della luna, la forza di gravità è proporzionale ad 1. Dunque:

fig. 39.



La forza di gravità è inversamente proporzionale ai quadrati delle distanze dal centro della terra.

Or le altezze, a cui possiamo ordinariamente elevarci non essendo che piccolissime frazioni del raggio terrestre, il quale è lungo più che 6 milioni di metri, si comprende perchè la gravità si mostri una forza costante negli sperimenti che si fanno sia colla macchina di Atwood, sia col piano inclinato di Galilei.

VII.

Della Leva.

Diverse specie di leve — Equilibrio nella leva — Bilancia — Asse nella ruota — Puleggia.

52. La *leva* consiste in un'asta rigida, su cui agiscono due forze che tendono a farla rotare in opposte direzioni intorno ad un asse od un punto, che si denomina *fulcro* od anche *punto di appoggio*. La forza che per mezzo della leva si vuole equilibrare o vincere, si dice *resistenza*, quella poi che a tal uopo si adopera, si denomina *potenza*; e diconsi *bracci di leva* le distanze del fulcro dalle direzioni delle due forze. Diverse specie di leve.

fig. 40.

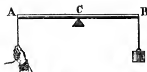


fig. 41.

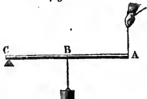
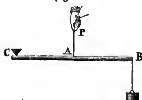


fig. 42.



Si distinguono *tre generi* di leve. Dicesi di *1° genere* la leva, quando il suo fulcro trovasi (*fig. 40*) tra i punti di applicazione della potenza e resistenza. Se poi il punto di applicazione della resistenza giace tra il fulcro ed il punto di applicazione della potenza, come nella *fig. 41*, la leva dicesi di *2° genere*; ed in fine si ha una leva di *3° genere*, quando il punto di applicazione della potenza sta tra il fulcro ed il punto di applicazione della resistenza (*fig. 42*).

Le forbici, la tanaglia, la bilancia, ecc. sono leve di 1° genere; i remi sono leve di 2° genere che hanno il loro punto di appoggio nell'acqua; gli arti degli animali sono leve di 3° genere.

53. È chiaro che nei tre generi di leve la potenza e la resi- Equilibrio della leva.

stenza tendono a far girare la leva per apposte direzioni. Or è noto (n° 32) che l'energia con cui una forza spinge un corpo a rotare intorno ad un asse, è misurata dal prodotto della forza per la distanza della sua direzione dall'asse, prodotto che sappiamo denominarsi *momento*. In conseguenza l'equilibrio della leva richiederà che il momento della potenza pareggi quello della resistenza. Chiamiamo P la potenza, p la distanza della sua direzione dal fulcro, ed indichiamo con R ed r le analoghe quantità rispetto alla resistenza, avremo nell'equilibrio:

$$P \times p = R \times r.$$

E considerando questi due prodotti eguali come risultanti dalla moltiplicazione dei termini estremi e dei medii di una proporzione, si avrà:

$$P : R = r : p;$$

vale a dire che:

Nell'equilibrio della leva la potenza e la resistenza debbono essere reciprocamente proporzionali ai loro bracci di leva.

Or nella leva di 1° genere il braccio della potenza potendo essere eguale, maggiore o minore di quello della resistenza, la 1ª forza potrà essere eguale, minore o maggiore della 2ª. E qualora la potenza abbia un braccio abbastanza lungo, essa per piccola che sia, potrà sempre equilibrare o vincere una grande resistenza.

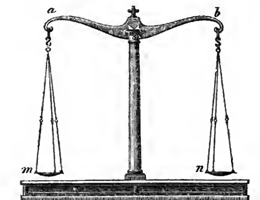
Nella leva poi di 2° genere la potenza sarà sempre minore della resistenza, avendo la 1ª forza un braccio di leva maggiore di quello della 2ª; e per una consimile ragione la potenza è sempre maggiore della resistenza nella leva di 3° genere.

Bilancia. 54. La *bilancia* è una leva di 1° genere a bracci eguali. L'asta *ab* (*fig. 43*) da cui pendono le due coppe, *m* ed *n*, prende il nome di *giogo*, ed il fulcro nelle buone bilance consiste in un prisma triangolare di acciajo fortemente temperato, il quale con uno dei suoi spigoli poggia sopra una lamina ben levigata di pietra dura. Così

(1) Il segno × sta invece di *moltiplicato per.*

l'attrito, che resiste al movimento del giogo, ne rimane di molto attenuato.

fig. 43.

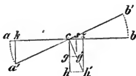


Il giogo, oltre ad avere una forma simmetrica rispetto al piano che passa pel suo centro di gravità e per lo spigolo del prisma o *coltello di sospensione*, dev'essere ancora, per quanto è possibile, leggiero e rigido. La leggerezza giova per diminuire la resistenza dell'attrito, che l'esperienza ha dimostrato esser proporzionale alla pressione; e la rigidezza provvede a far rimanere in uno stesso piano gli assi di sospensione delle coppe e quello di rotazione del giogo: la quale condizione essendo soddisfatta, il solo eccesso della carica di una coppa su quella dell'altra spingerà il giogo a rotare, mentre le rimanenti cariche eguali si comporranno in una sola forza applicata all'asse di rotazione. Quindi si comprende perchè siavi per ogni bilancia un limite di carica, che non si potrebbe oltrepassare senza produrre una qualche inflessione nel giogo, ed in conseguenza un abbassamento negli assi di sospensione delle coppe rispetto a quello di rotazione.

Non una pesata sarebbe possibile, se la bilancia squilibrata da una piccola differenza di carica nelle coppe, non tendesse a riprendere il suo equilibrio con una serie di

oscillazioni. Ciò vuol dire che l'equilibrio del giogo debba essere stabile (n° 38) e che in conseguenza il suo centro di gravità debba giacere sotto al coltello di sospensione. Non dev'esserne però molto lontano, imperocchè la *sensibilità* della bilancia, ossia la facilità di squilibrarsi per una piccola differenza di carica nelle coppe, verrebbe a scapitarne.

fig. 44.



Ed in vero, rappresentino *ab* (*fig. 44*) la congiungente i punti di sospensione delle coppe, e l'asse di rotazione del giogo, *g* il suo centro di gravità. Squilibrando la bilancia in modo che *ab* passi in *a'b'*, e quindi *g* in *g'*, il giogo con un momento rappresentato dal suo peso P molt. per *cs* tenderà ritornare al primo suo luogo, mentre la forza, che avremo applicata nel punto *a*, moltiplicata per *ck*, tenderà a ritenerlo deviato dal suo luogo di equilibrio sotto l'angolo *aca'*. Ma se il centro di gravità del giogo si fosse trovato più lontano dall'asse di rotazione, in *h* per esempio, allora il momento che lo avrebbe spinto a ritornare nel primo luogo, sarebbe stato rappresentato dal suo peso P moltiplicato per *cz*, valore più grande di P molt. per *cs*; e la rotazione per l'angolo *aca'* avrebbe richiesto un maggior momento della forza perturbatrice, la quale conservando lo stesso braccio di leva *ck*, non potrebbe dare un momento maggiore senza che essa stessa divenisse più grande. Donde si rileva che il centro di gravità del giogo, a misura che si troverà più lontano dall'asse di rotazione, farà che una maggior differenza sia necessaria nelle cariche delle coppe perchè ne avvenga un dato spostamenfo nella bilancia; vale a dire che una maggior distanza tra il centro di gravità del giogo e l'asse di rotazione fa scemare la sensibilità di una bilancia.

Per conoscere la relativa sensibilità di più bilance in quanto che essa dipende dalla posizione del centro di gravità del giogo, basterà che si facciano oscillare; la bilancia che farà più lente oscillazioni, sarà quella che avrà

il centro di gravità del giogo più vicino all'asse di rotazione. Questa regola non è che un'applicazione del principio indicato nel n° (44, — 2°).

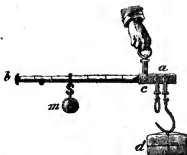
Perchè una bilancia sia esatta è d'uopo — 1° che gli assi di sospensione delle coppe sieno egualmente lontani da quello di rotazione — 2° che i due bracci del giogo abbiano eguali momenti rispetto al coltello di sospensione. Egli è chiaro che queste due condizioni potranno esser sempre soddisfatte con sufficiente approssimazione, ma giammai con precisione matematica. Ma poniamo pure che lo fossero, non per questo la bilancia saprebbe darci esattamente il peso di un corpo; imperocchè l'attrito del coltello di sospensione contro il suo sostegno, ancorchè di molto attenuato, non riuscirà giammai nullo, e richiederà in conseguenza che una forza sia impiegata a vincerlo nella rotazione del giogo. Supponendo che questa forza pareggi il peso di un milligrammo, è chiaro che se i pesi giacenti nelle due coppe differiscano per meno di un milligrammo, la bilancia conserverà la sua posizione normale di equilibrio non ostante la differenza ch'esiste tra i due pesi. Laonde la determinazione del peso di un corpo, ancorchè la bilancia fosse di matematica esattezza, sarebbe sempre tra i limiti della sua sensibilità. Che se poi all'effetto dell'attrito si aggiungesse la poca esattezza dell'apparecchio, allora più dubbio ancora sarebbe il risultato dell'esperimento. Perciò nelle ricerche di grande precisione va raccomandato il metodo delle *doppie pesate*, mercè del quale la determinazione del peso di un corpo dipende unicamente dalla sensibilità della bilancia. Volendo attuare questo metodo si comincerà dall'equilibrare il corpo situato in una coppa della bilancia con corpi qualunque messi nell'altra; indi tolto via il corpo, si porranno in sua vece tanti pesi metrici che bastino a ristabilire l'equilibrio. Allora questi pesi, tra i limiti di sensibilità della bilancia, rappresenteranno quello del corpo, qualunque sia il grado di esattezza dell'istrumento.

54. La *stadera* è una leva di 1° genere a bracci diseguali (*fig. 45*). Supponiamo per maggior semplicità che l'asta *ab*, mobile intorno all'asse di sospensione c, resti Stadera.

9

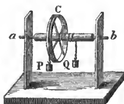
orizzontale quando il braccio corto ac è gravato soltanto dal peso della coppa o dell'uncino che ne pende. Se ora a contare dal punto c si prendano su cb degl'intervalli tutti eguali ad ac, è chiaro che il peso del corpo messo nella coppa, sarà eguale, doppio, triplo, ecc. di quello del *marco* o *romano m*, secondochè questo sarà situato sulla 1ª divisione, la 2ª, la 3ª ecc. E così con un peso costante applicato ad un variabile braccio di leva si viene a determinare il peso del corpo situato nella coppa.

fig. 45.



55. Anche leva di 1° genere è la macchina denominata *asse nella ruota*, di cui l'argano ci offre un esempio. Il cilindro ab (*fig. 46*) confonde il suo asse con quello della ruota C alla quale sta solidamente congiunto; dalla circonferenza della ruota pende il peso P che la tira a girare per un verso, mentre da una corda avvolta al cilindro pende un altro peso Q, che tira il cilindro e quindi la ruota a girare pel verso opposto. Nell'equilibrio della macchina dovendo essere eguali i momenti dei due pesi, avremo, chiamando R il raggio della ruota ed r quello del cilindro:

fig. 46.



$$R \times P = Q \times r;$$

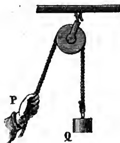
e riguardando P ed R come i termini estremi di una proporzione, Q ed r come i medii, sarà;

$$P : Q :: r : R.$$

Vale a dire che per aver equilibrio dell'asse nella ruota dovrà essere:

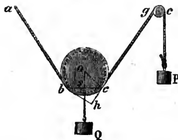
Potenza a resistenza come raggio del cilindro a raggio della ruota.

fig. 47.



56. La *troclea* è una ruota girevole intorno al suo asse, e scanalata nella circonferenza per ricevervi una fune. Se l'asse della troclea è congiunto ad un appoggio stabile, e la fune porta applicate ad un capo la potenza, all'altro la resistenza (*fig. 47*), la troclea dicesi *fissa*; ed al contrario si dirà *mobile* (*fig. 48*) se la resistenza è applicata all'asse della troclea, un capo della fune è fisso, ed all'altro sta applicata la potenza. Troclea.

fig. 48.



La troclea fissa è una leva di 1° genere a bracci eguali, perchè sono bracci i raggi della ruota; quindi in essa la potenza deve pareggiare la resistenza, e l'utilità della macchina consiste nel dare una comoda direzione alla potenza.

Nell'equilibrio poi della troclea mobile la direzione della resistenza deve dividere per metà l'angolo formato dai due capi di fune, e dev'essere in conseguenza perpendicolare alla corda *bc* (*fig. 48*) dell'arco abbracciato dalla fune. Supponendo la troclea in equilibrio, potremo far astrazione dal capo di fune *ab* fermato in *a* e riguardare la troclea come mobile intorno al punto *b*, in cui la fune comincia ad abbracciarla. Or così considerata, la resistenza tende a girarla per un verso col momento $Q \times bs$, mentre la potenza tende a girarla pel ver-

so opposto col momento $P \times bh$, bh essendo la distanza del punto b dalla direzione ce della potenza. Nell'equilibrio sarà dunque:

$$Q \times bs = P \times bh\,;$$

e passando da questa eguaglianza ad una proporzione, sarà:

$$P : Q :: bs : bh.$$

Ma i triangoli simili bos, bch si danno la proporzione;

$$bs : bh :: bo : bc;$$

dunque sarà;

$$P : Q :: bo : bc.$$

La bo è un raggio della troclea, e bc è la corda dell'arco abbracciato dalla fune. Dunque perchè siavi equilibrio nella troclea mobile è necessario che;

La potenza sia alla resistenza come il raggio della troclea alla corda dell'arco abbracciato dalla fune.

Donde si rileva che il maggior vantaggio della potenza si ha quando i capi della fune son paralleli, perchè allora la corda dell'arco abbracciato dalla fune è il diametro.

VIII.

Il piano inclinato — La vite — Il cuneo.

Piano inclinato.

57. Abbiamo veduto nel n° 39 che la forza da cui un corpo è sollecitato a scendere per un piano inclinato, sta a quella che lo farebbe cader verticalmente, come l'altezza del piano è alla sua lunghezza. Laonde se un corpo poggiato su di un piano inclinato debba rimanere in equilibrio mercè una forza parallela allo stesso piano, è necessario che tra la forza adoperata ed il peso del corpo siavi la stessa ragione che tra l'altezza del piano e la sua lunghezza.

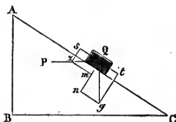


fig. 49.

Ma se il corpo (*fig. 49*) si volesse tenere in equilibrio sul piano inclinato AC mercè una pressione orizzontalmente diretta, allora sulla verticale condotta pel centro di gravità o del corpo prenderemmo la og eguale al peso Q di esso corpo; e scomponendola nelle due, on perpendicolare ed ot parallela al piano AC, troveremmo che la pressione orizzontale OP deve giacere nel piano nog, e che la sua componente os parallela al piano deve pareggiare la ot. Or i due triangoli ogt, ozs essendo simili ci danno la proporzione:

$$oz \text{ (ossia P)} : og \text{ (ossia Q)} :: os : gt;$$

e poichè nell'equilibrio dev'essere $os = ot$; così avremo:

$$P : Q :: ot ; og.$$

Ma pei triangoli simili ogt, ABC si ha la proporzione:

$$ot : og = AB : BC;$$

sarà dunque:

$$P : Q :: AB : BC.$$

Vale a dire che per tenere in equilibrio un corpo su di un piano inclinato mercè una pressione orizzontalmente diretta, dev'essere:

Potenza a resistenza come altezza del piano inclinato a base dello stesso piano.

58. Si dividano in eguali numeri di parti eguali i lati opposti AC,BD (*fig. 50*) di un rettangolo, e dopo aver uniti i punti di divisione come si vede nella fig., lo si volti a cilindro in modo che i lati AB e DC formino le circonferenze delle due basi. Così facendo, il punto C cadrà su **Vite.**

D, m su n, ... p su q, A su B; e le rette Cn, mo, lq, pB

fig. 50.



fig. 51.



piegandosi sulla superficie del cilindro, vi disegneranno una curva continua, che dicesi *elica* (*fig. 51*).

Or se facciamo che intorno al cilindro si aggiri, seguendo le spire dell'elica, un risalto di sezione rettango-

fig. 52.

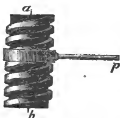


fig. 53.



lare (*fig. 52*) o triangolare (*fig. 53*), avremo la così detta *vite*, che si adagia in eguale scanalatura fatta in un cilindro concavo, e che si denomina *madrevite*. L'intervallo che sul lato del cilindro separa due spire consecutive dell'elica, costituisce il *passo* della vite.

Dalla costruzione stessa della vite e madrevite si rileva che l'ultima poggia sulla prima come un grave sopra un piano inclinato, la cui *altezza* sia eguale al passo della vite, e la *base* sia lunga quanto la circonferenza che termina il cilindro su cui la vite si avvolge. Quindi se con una forza orizzontale, che dinotiamo con K, applicata perpendicolarmente all'estremo del raggio del cilindro

(*fig.* 52) vogliamo tenere in equilibrio la madrevite, il cui peso chiamiamo Q; e dinotiamo con h il passo della vite, e con C la circonferenza della base, avremo;

$$K : Q :: h : C$$

Ma se in vece della forza K applicata all'estremità del raggio, si volesse impiegare una forza P con un braccio di leva p, allora il valore della forza P sarebbe dato dalla proporzione:

$$P : K :: r : p;$$

i cui termini moltiplicati ordinatamente con quelli della precedente, avremo:

$$P : Q :: h \times r : C \times p.$$

Or dalla Geometria è noto, che la circonferenza C di un circolo di raggio r è data dall'espressione $C = 2\pi r$, π indicando il rapporto della circonferenza al diametro. Sostituendo $2\pi r$ in vece di C nell'ultima proporzione, si otterrà:

$$P : Q :: h : 2\pi p.$$

Dunque nell'equilibrio della vite:

La potenza sta alla resistenza, come il passo della vite alla circonferenza che la potenza tende a descrivere.

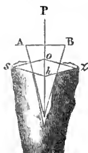
Per maggior semplicità abbiamo considerato come resistenza il peso della madrevite, che d'altronde il semplice suo attrito contro i passi della vite è più che sufficiente a tenere in equilibrio; ma nelle diverse applicazioni di questa macchina la resistenza che la madrevite incontra nello scorrere sulla vite, o questa su quella, nasce sempre dalla reazione delle forze molecolari che si vogliono vincere nella compressione di un corpo. E poichè la ragione del passo della vite alla circonferenza, che ha per raggio il braccio di leva della potenza, è sempre un numero assai piccolo, così si comprende come per mezzo della vite si possano produrre grandissime pressioni, e perchè la vite sia elemento di ogni sorta di strettoi.

La vite è ancora elemento principale delle macchine de-

stinate a dividere rette ed archi circolari in piccolissime parti eguali, e che perciò prende allora il nome di *vite micrometrica*. Dalla costruzione stessa della vite si rileva chiaramente che essa non potrà camminare nella madrevite per la lunghezza di un passo, senza che la potenza abbia fatto descrivere al suo braccio di leva un'intera circonferenza. Dunque se all'asse di una vite, il cui passo sia di un millimetro, venga applicato un indice scorrevole su di una circonferenza di cerchio divisa in 400 parti eguali, la vite procederà per $\frac{1}{400}$ di millimetro, ogni volta che l'indice passerà da una divisione all'altra della circonferenza; e così la lunghezza di un millimetro si potrà dividere in 400 parti eguali.

Cuneo. 59. Il *cuneo* è un prisma triangolare, rappresentato nella sua sezione normale dal triangolo ABC (*fig. 54*) che per maggior semplicità supponiamo avere uguali i lati AC e BC, che corrispondono alle così dette *facce del cuneo*. Mercè una forza P agente sulla AB, che dicesi *testa del cuneo*, sia questo cacciato in un pezzo di legno, che cominciando a fendersi, resiste tuttavia a lasciarsi ulteriormente penetrare. Questa resistenza genera sulle facce AC e BC delle pressioni eguali, che nell'equilibrio del cuneo debbono dare una risultante eguale ed opposta alla forza P, che agisce sulla sua testa. Perciò sulle perpendicolari *os* ed *oz* condotte alle facce AC e BC pei punti in cui incontrano la resistenza del legno, prese le due parti eguali os ed oz, si costruisca il parallelogrammo *oshz*, e si tiri la diagonale *oh*: questa nell'equilibrio dovrà essere eguale ed opposta alla forza P. Così avremo che la relazione di grandezza tra la potenza e la resistenza sarà quella che passa tra le rette *oh* ed os. Ma il triangolo *osh* essendo simile al triangolo ABC, abbiamo la proporzione:

fig. 54.



$$oh : os :: AB : AC;$$

dunque nell'equilibrio del cuneo dovrà essere:

La potenza alla resistenza come la testa del cuneo è alla sua faccia.

Sono cunei tutti gli strumenti taglienti, i denti delle seghe, le lame delle forbiei, ecc. e si comprende perchè agiscano meglio, come sono più aguzzi, vale a dire come la testa del cuneo, che rappresentano, è minore della corrispondente faccia.

IX.

Equilibrio dei liquidi.

Superficie di livello — Principio di egual pressione — Principio di Archimede — Equilibrio delle mescolanze dei liquidi — Equilibrio dei galleggianti — Misura delle densità — Areometri — Peso specifico — Misura dei volumi — Pressione su i fondi dei recipienti — Paradosso idrostatico — Torchio idraulico — Pressione sulle pareti laterali — Vasi comunicanti — Fenomeni capillari.

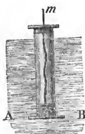
60. Poichè di coesione ve n'è poca nei liquidi (n° 12), così le loro molecole restano mobilissime le une rispetto alle altre; e per questa loro mobilità avviene che nell'equilibrio della massa la superficie donde superiormente è terminata, e che dicesi *superficie di livello*, debba in ogni suo punto trovarsi perpendicolare alla direzione della gravità. Imperocchè se così non fosse, lo strato superficiale delle molecole scenderebbe scorrendo su quello che lo sostiene, non altrimenti che fa un grave lasciato sopra un piano inclinato. E da ciò vediamo la ragione per cui la direzione della gravità (n° 34) si trovi esser quella di una perpendicolare alla superficie dei liquidi stagnanti nel luogo dell'esperimento; e comprendiamo ancora perchè le piccole estensioni di acqua ci presentino piana la loro superficie di livello, mentre il mare colla sua convessità c'impedisce di vedere il corpo di una nave lontana, di cui purtuttavia ci lascia scorgere le vele. Superficie di livello.

61. Dalla stessa mobilità molecolare dei liquidi deriva ancora che ogni pressione fatta in qualsivoglia punto di una massa liquida, debba trasfondersi per ogni verso in tutta la massa. Questa proprietà, comune ai corpi liquidi ed ae- Principio di egual pressione.

riformi, e della quale i solidi non vanno del tutto privi malgrado l'energia della loro coesione, è conosciuta sotto il nome di *principio di egual pressione*, come quella che in sè contiene la ragione prima delle pressioni che i liquidi esercitano contro i corpi che vi stanno immersi, e contro le pareti dei loro recipienti.

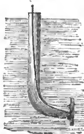
Principio di Archimede.

fig. 55.



62. Cominciamo dal cercare il verso e la misura della pressione che i liquidi fanno contro i corpi che ne sono circondati. Prendiamo un tubo di vetro, (*fig. 55*) il cui fondo già spianato sia chiuso da una lamina AB della medesima sostanza, e che per mezzo del filo *m* attaccato al suo centro si ritiene applicata all'orlo inferiore del tubo. Se dopo averlo così chiuso, lo immergiamo in una massa di acqua, in modo che il liquido non giunga a penetrarvi per l'orlo superiore, vedremo che abbandonando a sè stesso il filo di sospensione, la lamina non lascerà di rimanere attaccata al fondo del tubo. Laonde, se i liquidi perchè pesanti debbono premere dall'alto in basso, quest'ultimo sperimento ci dimostra che essi premono ancora dal basso in alto.

fig. 56.



E se l'apertura inferiore del tubo fosse laterale, come nella (*fig. 56*), troveremmo ancora che dopo l'immersione nell'acqua la lamina, donde quell'apertura sarebbe chiusa, vi resterebbe applicata senza che venisse ritenuta dal filo di sospensione. I liquidi dunque premono ancora in direzioni orizzontali; ed egli è facile comprendere come questi sperimenti si possono variare col dare diverse inclinazioni al piano dell'apertura inferiore del tubo, e così chiarirsi che i liquidi in tutte le direzioni premono contro i corpi immersi.

Se dunque attaccata ad un filo teniamo sospesa nell'acqua, a modo di esempio, una palla di ottone, questa dall'acqua ambiente sarà premuta in tutte le direzioni. Ma nel luogo occupato dalla palla, e prima che questa vi fosse, si trovava un egual volume di acqua, il quale egualmente che la palla doveva esser premuto per ogni verso dal liquido ambiente. E poichè quel volume liquido non ne riceveva alcun moto, così le pressioni orizzontali han dovuto riuscir tutte eguali ed opposte, e perciò è poi avvenuto che il filo di sospensione della palla è restato verticale nell'acqua come prima lo era nell'aria. E quanto alle pressioni verticali, quella esercitata dall'alto in basso, più il peso di esso volume liquido, avrà dovuto pareggiare la spinta che il liquido ambiente ha prodotta dal basso in alto. Così il volume liquido, da noi considerato, ha potuto rimanere equilibrato, e la palla, che poi è venuta ad occupare il suo luogo, ha dovuto trovare in direzione opposta al suo peso una forza eguale al peso del volume liquido da essa spostato; ossia che la palla per la sua immersione nel liquido ha dovuto perdere tanto del suo peso, quanto è quello di un volume liquido eguale al suo. In questa perdita di peso che un corpo soffre per la sua immersione in uno fluido, consiste il principio scoperto da Archimede, e che si enuncia nel seguente modo: *Un corpo immerso in un fluido, vi perde tanto del suo peso quanto è il peso del volume fluido che ha rimosso.*

fig. 57.



Questo principio, che abbiamo dedotto da quello di egual pressione, può essere rifermato dall'esperienza nel seguente modo. Ad una delle coppe di una bilancia si sospenda un cilindro A (*fig. 57*) di ottone massiccio che entri esattamente in un cilindro vuoto B poggiato sulla coppa. Si equilibri la bilancia mercè pesi situati nell' altra coppa; indi s' introduca il cilindro A in un bicchiere con acqua. Si vedrà subito la bilancia squilibrarsi dal lato opposto; e ciò dimostra che il cilindro A pel fatto della sua immersione nell'acqua ha perduto una parte del

suo peso. Empiendo allora di acqua il cilindro B, la bilancia ritornerà al suo primo equilibrio, e così farà conoscere che realmente la perdita di peso fatta dal cilindro A nell'acqua è eguale al peso del volume di acqua che ha discacciato.

Da questo principio poi deriva:

1° Che se un solido pesi quanto un egual volume di un dato liquido, esso resterà in equilibrio a qualunque profondità si faccia scendere nello stesso liquido.

2° Che se il solido sia più pesante del liquido, dovrà cadervi dentro fino a toccarne il fondo.

3° Che se in fine il solido pesi meno di un liquido, dovrà rimanervi a galla scacciandone un volume minore del suo, ma pesante sempre quanto l'intero solido. Così una nave corazzata insieme ai suoi cannoni, alle munizioni ed agli uomini dell'equipaggio dovrà pesare quanto il volume di acqua marina che rimuove.

fig. 58.



A rifermare queste deduzioni del principio di Archimede serve quel giochetto fisico, denominato *diavoletto di Cartesio*. Consiste (*fig. 58*) in una figurina di smalto, che pende da un sottilissimo globetto di vetro pieno di aria e bucato inferiormente. Il diavoletto sta immerso nell'acqua, di cui è pieno un vase cilindrico di cristallo, chiuso superiormente da una pelle che vi sta legata intorno. Facendo sulla pelle una pressione, questa si diffonde in tutta la massa liquida, che così penetra in parte nel globetto di vetro, rende il diavoletto più pesante e lo fa cadere a fondo. Quando poi si cessi di premere sulla pelle, l'aria contenuta nel globetto riprende il primo volume cacciando l'acqua che vi era penetrata, il diavoletto ne diviene più leggiero e torna a galla.

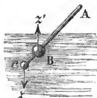
Equilibrio delle mescolanze di liquidi.

63. Versiamo in un bicchiere dell'olio di oliva, indi un pò d'acqua. Ogni goccia di questa essendo più pesante di un egual volume di olio, dovrà scendere sul fondo del bicchiere; e così i due liquidi verranno disponendosi in due suoli, l'uno inferiore di acqua, l'altro superiore di olio. Aggiungiamoci ancora del mercurio; e questo essendo in

ogni suo globetto più pesante di un egual volume sì d'acqua che di olio, dovrà scendere in fondo all'uno e all'altro.

Versando dunque in un medesimo recipiente liquidi vicendevolmente insolubili, essi verranno ordinandosi a suoli l'uno all'altro soprapposti, in modo che il più denso serva di sustrato a quello che lo è meno. E la tendenza a questo modo di equilibrio è tanta, da scorgerla eziandio nei liquidi dotati di reciproca solubilità: versando, a modo di esempio, dell'acido solforico nell'acqua, fa d'uopo rimescolare i due liquidi se si vuole che l'acido ne resti egualmente ripartito; e se questo per mezzo di lungo imbuto si faccia pervenire al fondo del bicchiere, lo si vedrà formarvi uno strato che toglie sopra di sè tutta la massa dell'acqua.

fig. 59.



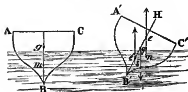
64. Prendiamo un tubo di vetro A (*fig. 59*) che sia inferiormente allargato nella sfera B, alla quale stia congiunta la pallina C in parte piena di mercurio o di globetti di piombo; immergiamolo nell' acqua, e lo vedremo galleggiare tenendosi perpendicolare alla superficie di livello; e se lo rimoviamo inclinandolo, lo vedremo da sè stesso raddrizzarsi. Per intendere come il tubo nella sua giacitura verticale trovasse il suo stabile equilibrio, facciamoci a considerarlo nella posizione inclinata in cui ce lo presenta la figura. Il suo centro di gravità dovendo naturalmente trovarsi nella parte più pesante dell'apparecchio ossia nella pallina c, ed il punto di applicazione della spinta verticale del liquido dovendo giacere più in alto, come quello che deve rappresentare il centro di figura della parte sommersa, il tubo, inclinato com'è, dovrà sottostare all'azione di una coppia, le cui componenti saranno dirette come Cz e Bz', e la cui azione lo rimenerà alla direzione verticale. **Equilibrio dei galleggianti.**

Se dunque il centro di gravità di un galleggiante si rattrovi sottoposto a quello del volume liquido spostato, l'equilibrio del galleggiante sarà necessariamente stabile.

Ma il primo centro potrebbe viceversa trovarsi supe-

riore al secondo, ed esservi purtuttavia stabilità di equi-

fig. 60.



librio. Ed in vero, rappresenti ABC (*fig. 60*) la sezione del corpo di una nave, fatta da un piano menato pel centro di gravità g della nave perpendicolarmente al suo asse di figura: sia m il centro omonimo del volume liquido spostato, e quindi il punto di applicazione della spinta che ne risulta. È chiaro che nel caso di equilibrio i due centri debbano giacere in una stessa verticale.

Or se per azione di vento o per impeto di onde il corpo della nave prendesse ad inclinarsi come in A'B'C', il suo centro di gravità g rimarrebbe nel suo primo luogo, ma quello del volume liquido spostato, pel cangiamento di figura che vi sarebbe avvenuto, non potrebbe più giacere nel piano di simmetria B'H. Poniamo che fosse passato in n: allora il liquido spingerebbe secondo ne, e la gravità tirando giù secondo la linea gz, si avrebbe una coppia la quale colla sua tendenza a svolgersi richiamerebbe il corpo della nave a ritornare nel suo primo equilibrio. Ma se il centro della spinta si fosse trovato in s, la coppia avrebbe in vece favorito l'azione perturbatrice a vieppiù allontanare la nave dal suo equilibrio. E si osservi che nel 1° caso la direzione della spinta del liquido avrebbe incontrato il piano di simmetria B'H in un punto e, superiore al centro di gravità g, e nel 2° caso in è inferiormente allo stesso punto g. Un tal punto d'incontro si denomina *metacentro*; e quindi diciamo, che qualora il centro di gravità del galleggiante si trovi più alto che quello del volume liquido spostato, l'equilibrio sarà stabile o instabile, secondo che il metacentro giacerà sopra o sotto del centro di gravità del galleggiante.

65. Sappiamo (nº 35) che la gravità opera egualmente su tutte le minime particelle di materia; in conseguenza se i corpi sotto uno stesso volume pesassero egualmente, conterrebbero tutti la medesima quantità di materia. Ma l'esperienza dimostra che corpi diversi hanno diverso peso sotto uno stesso volume; la materia è dunque variamente ordinata nei diversi corpi. Quelli che a parità di volume pesano più, contengono maggior quantità di materia e si dicono *più densi;* quelli poi che pesano meno, contengono minor quantità di materia e si dicono *meno densi.* Misura della densità.

La *densità* è dunque la proprietà di contenere una maggiore o minor quantità di materia sotto un dato volume. Perciò la densità è una grandezza, di cui in molti casi gioverà conoscere il valore. Questa determinazione suppone pertanto una misura, e quindi un'unità; e come tale si è scelta la densità dell'acqua distillata ad una data temperatura. Così un corpo che pesasse due volte tanto che un egual volume di acqua distillata, avrebbe una densità rappresentata dal numero 2, un altro che pesasse cinque volte più, avrebbe una densità espressa da 5, ecc.

Or il rapporto del peso di un corpo a quello di un egual volume di acqua distillata si ottiene facilmente mercè il principio di Archimede. Poniamo per esempio che si voglia conoscere la densità del piombo. Dopo aver pesato esattamente un pezzo di questo metallo, si sospenda per mezzo di un filo alla coppa di bilancia in cui si era lasciato per pesarlo, indi si faccia pescare nell'acqua distillata; e l'equilibrio che così rimarrà distrutto, si restituisca mercè pesi aggiunti alla stessa coppa. In tal modo conosceremo il peso del piombo e quello di un egual volume di acqua; il quoziente del primo peso diviso pel secondo esprimerà la densità del piombo.

Egualmente spedito è il metodo che il principio di Archimede ci somministra per la determinazione delle densità dei liquidi. A tal uopo basterà equilibrare, sospendendolo ad una delle coppe di una bilancia, un solido, che sia più pesante sì dell'acqua distillata che del liquido di cui si vuol conoscere la densità, e che venendo a contatto dei due liquidi non dia luogo a sensibile azione

chimica. Determinando le perdite di peso che il solido farà nei due liquidi, si avranno i loro pesi sotto eguali volumi; e basterà sempre comparare questi pesi tra loro, per avere la densità dell'uno rispetto a quella dell'altro.

La conoscenza delle densità dei liquidi giova per la determinazione di quelle dei solidi, che non si possono immergere nell'acqua senza dar luogo ad alterazioni chimiche. Poniamo che un solido così fatto si possa immergere nell'olio di uliva, e che essendovi immerso perda 30 grammi del suo peso. Essendo 0,918 la densità di quest' olio rispetto all'acqua distillata, la perdita di peso che il solido avrebbe fatta in quest' ultimo liquido sarebbe stata di grammi 30 divisi per 0,918, ossia di 32 grammi e 679 milligrammi.

Areometri. 66. Di questi strumenti *misuratori delle densità* ve n'ha due specie; gli uni di peso costante, come gli ordinarii *pesaliquori*, si affondano più o meno in un liquido, secondo che questo è viceversa meno o più denso; gli altri poi sotto una carica, variabile a norma della densità del liquido, s' immergono sempre di una stessa quantità. I primi non possono dare della densità dei liquidi che un valore assoluto, quale appunto si richiede in parecchie operazioni industriali; e perciò sarà bastevole averne indicata l'esistenza. Gli altri poi sono veri strumenti scientifici, e tra essi va distinto quello ideato da Nicholson. Si compone di un cilindro A (*fig. 61*) fatto di lamina metallica, terminato da due coni, di cui l'uno è surmontato dal piattello C, l'altro porta sospeso la secchia B. Questo strumento può servire non soltanto a determinare le densità dei corpi solidi e liquidi, ma trattandosi di piccole masse può sostituire ancora l'ordinaria bilancia. A tal uopo si porrà sul piattello il corpo che si vuol pesare e vi si aggiungeranno i pesi necessarii ad *affiorare* l'istrumento, vale a dire a farlo immergere fino ad un certo punto s segnato sull'asta di sostegno del piattello: indi si torrà via il corpo e si porranno invece i pesi necessarii a far discendere l'istrumento come prima. È chiaro

fig. 61.



che la somma dei secondi pesi sarà l'equivalente del peso richiesto.

Riguardo poi all'uso areometrico dell'istrumento, se si vuol determinare la densità di un solido inalterabile dall'acqua, se ne cercherà il peso nel modo anzidetto, indi si deporrà nella secchia e così si avrà modo di conoscere la perdita di peso che farà nell'acqua. E se di solidi più leggieri di questo liquido la bilancia idrostratica non saprebbe indicare il peso di un egual volume di acqua senza unirli a corpi più pesanti che li obbligassero ad affondare, usando l'areometro si raggiungerà lo scopo unendo il corpo alla secchia per mezzo di un filo.

E se in fine si vuol usare per definire la densità dei liquidi, bisognerà che si conosca il peso dell'istrumento, affinchè aggiuntovi quello della carica necessaria ad affiorarlo, si abbia il peso del volume liquido da esso discacciato. E potendo così conoscere i pesi di eguali volumi di più liquidi, dalla loro immediata comparazione si avranno i rapporti delle loro densità.

67. Quando di un corpo conosciamo la densità, potremo facilmente determinare il peso dell' unità di volume di esso corpo, e che si denomina *peso specifico*. Imperocchè basterà moltiplicare il peso dell' unità di volume dell'acqua pel numero ch'esprime la densità del solido, per averne il peso specifico. Così se si volesse sapere quanti rotoli pesi un palmo cubico di ferro fuso, basterebbe moltiplicare il peso di un palmo cubico di acqua distillata, ossia rotoli 20,736 per 7,207 ch'esprime la densità del ferro fuso, il prodotto 145,705 esprimerebbe in rotoli il peso di un palmo cubico di ferro fuso (1). Peso specifico.

Nei sistemi metrici però, in cui il peso dell'unità di volume dell'acqua costituisce l'unità di peso, come avviene nel sistema metrico francese ora adottato nel regno italico, il peso specifico di un corpo si trova espresso dallo stesso numero che ne rappresenta la densità; quindi è derivato che le espressioni *densità* e *peso specifico* sieno riguardate come sinonime.

---

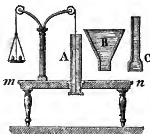
(1) Questo calcolo però suppone un certo grado di calore, come in seguito vedremo.

Misura dei volumi.

68. Di ogni corpo che non abbia forma geometrica, ma che non sia troppo grande per poterlo sospendere alla coppa di una bilancia, si potrà facilmente determinare il volume per mezzo del principio di Archimede. Poniamo per esempio che si voglia determinare il volume di una statuetta di marmo: si sospenda la statuetta ad una delle coppe di una bilancia equilibrandola con pesi situati nell'altra coppa, indi si determini quanto peso essa perda per la sua immersione nell'acqua distillata. Supponiamo che questa perdita sia stata di 785 grammi: poichè ogni centimetro cubico di acqua distillata pesa un grammo, è chiaro che il volume di acqua, scacciato dalla statuetta, è stato di 785 centimetri cubi.

Pressione su i fondi dei recipienti.

fig. 62.



69. Nel mezzo di un tavolinetto MN (*fig. 62*) sta impiantato un vase cilindrico di ottone con fondo mobile ritenuto per mezzo di un forte filo di seta, il quale passando per le gole di due girelle, porta sospeso coll'altro capo un piattello di bilancia, egualmente pesante che il fondo mobile: al cilindro di ottone è poi fermato per mezzo di vite un tubo di cristallo A di egual diametro interno, in modo da formare un solo recipiente cilindrico con fondo mobile. Segnato un punto sull'altezza del recipiente, si calcoli il peso di un volume cilindrico di acqua, avente per base la porzione del fondo racchiusa nell'interno del tubo e l'altezza che si è segnata; indi si carichi di egual peso il piattello di bilancia.

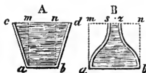
Preparata così la macchinetta, si versi dolcemente dell'acqua nel recipiente fino ad empirlo all' altezza segnata, e si vedrà il fondo mobile rimanere tuttavia aderente al cilindro; ma se nuov'acqua si aggiunga, il fondo cadrà insieme al liquido sostenuto.

Questo sperimento dimostra, ciò che già si prevedeva, che la pressione fatta dal liquido sul fondo mobile, pareggia il peso di esso liquido.

Or si tolga via il tubo A, ed allo stesso cilindro metallico si adattino successivamente il vase B ed il tubo C, il primo di una capacità assai più grande di quella del tubo A, il secondo di una capacità molto più piccola. Con ciascuno di questi recipienti si ripeta la prova fatta col tubo A, e si troverà costantemente che il fondo sarà spinto giù dall'acqua sovrastante, subito che essa avrà superata l'altezza segnata.

Comparando tra loro questi tre risultati sperimentali si vede chiaramente che la pressione fatta da un liquido sul fondo del suo recipiente, qualunque forma questo si abbia, pareggerà sempre il peso di una colonna dello stesso liquido, avente per base la superficie del fondo, e per altezza quella del liquido sovrastante.

fig. 63.



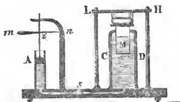
70. Dalle cose dette nel n° precedente si rileva che la pressione fatta sul fondo *ab* del vase A (*fig. 63*) dovendo pareggiare il peso della colonna *amnb*, sarà minore di quello di tutto il liquido che vi è contenuto. La qual cosa si comprende agevolmente qualora si consideri che il fluido contenuto negli spazii *cam*, *ndb* gravitando sulle pareti laterali *ac* e *bd*, non può premere sul fondo *ab*; e quindi l'utilità di dare un piccolo fondo ai recipienti fatti di sostanze fragili, come il vetro o la terra cotta, affinchè non rimanesse schiacciato dalla pressione del liquido sovrastante. **Paradosso idrostatico.**

Diversamente poi va la cosa pel recipiente B (*fig. 63*) nel quale la pressione fatta sul fondo, perchè rappresentata dal peso della colonna liquida *amnb*, supera quello di tutto il liquido contenuto. Mercè un tal eccesso di pressione la bilancia dovrebbe indicare un peso più grande di quello del recipiente e del liquido che vi sta dentro; purtuttavia non lascia vedere che un peso eguale alla somma dei due pesi. Ecco dunque un paradosso; ma non ne ha che l'apparenza, imperocchè il liquido spinge verticalmente in alto le pareti *as* e *bz* con forza eguale

al peso del liquido che sarebbe contenuto negli spazii *ams*, *bnz*, vale a dire eguale al peso di cui quello della colonna *amnb* supera l'altro del liquido racchiuso nel recipiente. E la bilancia non potendo indicare che l'eccesso della pressione ricevuta dal fondo sulla spinta che il liquido fa dal basso in alto, non può far conoscere se non il peso del recipiente con quello del liquido che vi è contenuto.

Torchio idraulico.

fig. 64.



71. Un'importante applicazione della legge con cui i liquidi premono sui fondi dei loro recipienti, si trova attuata nel *torchio idraulico*. Un vase cilindrico A (*fig. 64*) ed un altro CD stanno in comunicazione per mezzo del tubo *s*; in A è mobile uno stantuffo per mezzo della leva *mn*, e per la gola di CD può scorrere a strofinio il cilindro M, che finisce superiormente in un forte disco. I recipienti A e CD insieme al tubo *s* essendo pieni di acqua, ogni pressione fatta sullo stantuffo viene per mezzo del liquido trasmessa sulla base del cilindro M, ove si trova moltiplicata in ragione della maggior superficie su cui agisce. Poniamo, per esempio, che il diametro del cilindro M sia 5 volte quello dello stantuffo, e che il braccio *mn* della leva sia 4 volte più grande del braccio *zn*, a cui è fermata l'asta dello stantuffo. Facendo sull'estremità *m* della leva uno sforzo pari ad un chilogramma, lo stantuffo riceverà una pressione di 4 chilogrammi, la quale trasmessa per mezzo dell'acqua diverrà 25 volte più grande sulla base del cilindro M, essendochè le superficie dei cerchi sono come i quadrati dei loro diametri. Laonde col fare sull'estremità *m* della leva la pressione di un chilogramma, il cilindro M sarà spinto in alto con una forza di 100 chilogrammi, e con egual forza comprimerà contro l'ostacolo LH ogni corpo, che gli venga soprapposto.

Pressioni sulle pareti laterali.

72. I liquidi premono contro le pareti laterali dei loro

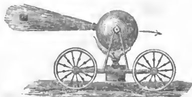
recipienti con forza tanto più grande, quanto il punto che si considera è più profondo. Nei punti poi che sulle opposte pareti si trovano giacenti in una medesima orizzontale, le pressioni sono eguali e contrarie; e perciò avviene che i liquidi giammai spingono i loro recipienti a verun moto orizzontale.

fig. 65.



Ma se in un punto della faccia laterale bagnata dal liquido si facesse un'apertura, ivi il liquido cesserebbe di premere; la pressione sull'opposta faccia rimarrebbe d'altrettanto più grande, e questo eccesso spingerebbe il recipiente a muoversi per lo stesso verso. Su di una tavoletta di sughero galleggiante sull'acqua pongasi un piccolo vase A (*fig. 65*) che abbia presso al suo fondo una cannella con chiave: empito il vase di acqua, e poi aperta la cannella, si vedrà tosto il sughero muoversi pel verso indicato dalla freccia.

fig. 66.

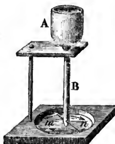


Similmente si dà moto a quel giochetto fisico, denominato *eolipila* (la porta di Eolo). È un vase di rame (*fig. 66*) a forma di pera, a cui fa da peduncolo una cannella che va chiusa da leggiero turacciolo. Il vase insieme ad una sottoposta lucerna a spirito divino riposa sopra un leggierissimo carretto a tre ruote; e quando per l'azione della fiamma si sarà gassificata tant'acqua da vincere la resistenza del turacciolo, questo sarà cacciato via da un getto di vapore, ed il carretto si porrà in moto pel verso opposto.

Nè diversa è la cagione che dà moto a tutte le maniere di girandole. In quella che vedesi rappresentata dalla (*fig. 67*), e che talvolta si è adoperata pel moto di

un mulino, vi è un recipiente A comunicante col tubo B, il quale essendogli unito nell'estremità superiore con una ghiera ad anello, e riposando in basso sopra una punta, riesce mobilissimo intorno al suo asse di figura: al tubo B stanno poi impiantati i tubi orizzontali *m* ed *n*, e di cui ciascuno ha un foro laterale scolpito sulla faccia opposta a quella dell'altro. L'acqua versata nel recipiente A, scende pel tubo B, e fluisce dalle aperture dei tubi *m* ed *n*; i quali si trovano così spinti da una coppia a girare pel verso indicato dalle frecce, ed impartiscono un eguale rotazione al tubo B. Supponendo che questo tubo sia asse di una ruota dentata, e che il vase A sia continuamente alimentato da un canale, si comprenderà come con un simile congegno siasi potuto dar moto alle macine di un mulino.

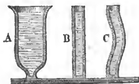
fig. 67.



Vasi comunicanti.

73. Il recipiente A ed i tubi B e C (*fig. 68*) sono uniti per mezzo di un condotto, che mette in comunicazione i loro fondi. Versando un liquido qualunque in uno di essi, lo vedremo tosto elevarsi in tutti alla medesima altezza, dimodochè le superficie di livello nei tre recipienti si troveranno giacenti in un medesimo piano orizzontale.

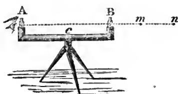
fig. 68.



Di questa condizione di equilibrio di un liquido in più vasi tra loro comunicanti si è fatta un'utile applicazione facendola servire alla costruzione di uno strumento topografico, denominato *livello ad acqua*. Si compone di un tubo ricurvo C (*fig. 69*) fatto di foglia metallica, il quale finisce nei due recipienti di cristallo A e B, ed è sostenuto da un treppiede. Vi si versa dell'acqua fino a riempirne buona parte dei vasetti A e B; ed allora guar-

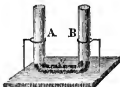
dando in modo che le superficie dell' acqua nei due vasetti appariscano coincidenti in una stessa linea, tutti i punti, come m ed n, che si scorgeranno giacenti in quella linea, dovranno trovarsi in un medesimo piano orizzontale, ch' è appunto quello delle superficie di livello nei recipienti A e B.

fig. 69.



Or prendiamo il tubo ricurvo AB (*fig. 70*), e fermatolo verticalmente sopra una tavoletta di base, versiamoci del mercurio fino a vederlo alquanto elevato nelle due braccia del tubo; indi finiamo di empir con acqua il braccio A. Vedremo allora il mercurio rimanere nel braccio B un pò più alto che in A; e se ci faremo a misurare di quanto il livello del mercurio nel primo braccio si eleva su quello dell'altro, troveremo un'altezza tredici volte e mezzo più piccola di quella dell'acqua. Ma la densità di questo liquido è 13 volte e mezzo minore di quella del mercurio; dunque liquidi differenti, versati in vasi comunicanti, vi si elevano ad altezze inversamente proporzionali alle loro densità.

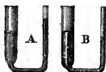
fig. 70.



74. Nessun liquido presenta una superficie di livello continuamente piana fino alla linea di contatto colla parete del suo recipiente. L' acqua versata in un bicchiere ben terso, si eleva in contatto del vetro con una superficie concava, ed il mercurio vi si deprime con un dorso convesso; e qualora il recipiente sia un tubo di piccolissimo diametro (perciò distinto coll'aggiunto di *capillare*, quasi che non vi potesse penetrare qualsiasi corpo più doppio di un capello) allora la parte piana della superfi- **Fenomeni capillari.**

cie di livello si troverà sparita interamente, e sostituita da una cavità emisferica pei liquidi che bagnano la sostanza del tubo, e da un emisfero convesso per quelli che non la bagnano.

fig. 71.



E se consimili tubi si facciano comunicare con più ampii recipienti, allora oltre al cangiamento di forma nella superficie di livello, si osserverà una notevole alterazione della legge di equilibrio nei vasi comunicanti. Imperocchè versando acqua nel tubo ricurvo A (*fig. 71*) e mercurio in B, vedremo il primo liquido elevarsi più nel braccio stretto che nel largo, ed il mercurio viceversa rimanervi più basso.

Queste alterazioni della legge di equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti seguono la ragione inversa dei diametri dei tubi. S'immerga verticalmente nell'acqua l'estremità di un tubo capillare di vetro, e si misuri l'altezza a cui il liquido vi si eleva; poi s'immerga un secondo tubo, il cui diametro sia metà di quello del primo, ed il liquido vi salirà ad un'altezza doppia. Alla stessa legge vanno ancora sottoposte le depressioni del mercurio.

Fenomeni consimili si osservano ancora immergendo verticalmente nell'acqua o nel mercurio due lamine parallele di vetro separate da piccolo intervallo. Tra esse il liquido si vedrà terminato da una curvatura cilindrica, convessa o concava secondo che si adopera il mercurio o l'acqua; ma l'alterazione di livello sarà metà di quella che sarebbe avvenuta in un tubo di diametro eguale all'intervallo delle lamine.

La pressione dell'aria non prende parte nella produzione dei fenomeni capillari, imperocchè essi non procedono seguendo la ragione inversa delle densità dei liquidi, come dovrebbe necessariamente avvenire, se dipendessero da differenza di pressione tra l'interno e l'esterno del tubo; l'alcool, a modo di esempio, in un cannello di vetro si eleva meno dell'acqua, quantunque di questa sia più leggiera. Ed a ciò si aggiunga che i fenomeni capillari restano inalterati nel vuoto pneumatico.

La cagione di questi fenomeni non può cercarsi altrove che nell'azione delle forze molecolari, come chiaramente si rileva dai seguenti fatti.

1° L'acqua calda si eleva meno dell'acqua fredda; il che vuol dire che scemando la coesione, vien meno ancora la forza capillare. La coesione va dunque annoverata tra le cagioni produttrici del fenomeno.

2° In un tubo di vetro interiormente unto di grasso, o fortemente riscaldato, l'acqua si deprime e termina con superficie convessa. Al contrario il mercurio, che si abbassa nei tubi di vetro, di ferro o di platino, s'innalza in vece con superficie concava in quelli formati di metalli facili ad essere amalgamati. Dunque l'adesione ancora concorre nella produzione dei fenomeni capillari.

Or se ci facessimo a voler chiarire come dal vario giuoco delle forze molecolari il fenomeno della capillarità venga determinato in tutti i suoi particolari, c'imbatteremmo in quistioni che sono di esclusiva pertinenza di quella parte elevata della scienza, che si denomina *Fisica matematica*.

X.

Pressione atmosferica.

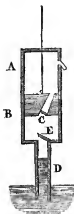
Tromba aspirante — Sperimento di Torricelli — Pressione dell'aria sul corpo umano — Barometro — Correzioni delle osservazioni barometriche — Effetti dinamici della pressione atmosferica — Legge di Mariotte — Estensione di essa.

75. In un cilindro A (*fig. 72*), denominato *corpo di tromba*, si move lo stantuffo B, attraversato da un foro chiuso in C da una *valvola* o porticina, la quale si apre da fuori in dentro: al corpo di tromba è congiunto il *tubo di aspirazione* D, e nella loro congiunzione rattrovasi la valvola E. Immergendo il tubo di aspirazione nell'acqua e poi elevando lo stantuffo, una porzione dell'aria contenuta in D spingendo la valvola E passerà nello spazio che la salita dello stantuffo avrà reso più ampio, e nel tempo stesso il livello dell'acqua verrà elevandosi nel tubo di aspirazione. Facendo poi discendere lo stantuffo, l'aria che nel corpo di tromba gli sta sottoposta, ne verrà compressa, Tromba aspirante.

12

e per l' accresciuto suo elaterio verrà chiusa la valvola E, l'altra C sarà aperta e gran parte di quell'aria fuggirà pel foro scolpito nel corpo dello stantuffo. Questo salendo di nuovo farà che altr' aria sia tolta dal tubo D; ne verrà in conseguenza nuova salita di acqua, la quale col continuato giuoco dello stantuffo perverrà ad occupare la parte inferiore del corpo di tromba, solleverà la valvola C, e perverrà in ultimo a fluire dal tubo H.

fig. 72.



Questa macchina vien detta *tromba aspirante*. Se ne attribuisce l'invenzione a Ctesibio della Scuola di Alessandria e che viveva circa 150 anni prima dell'era volgare. E poichè l'innalzamento dei liquidi per aspirazione era noto da tempo immemorabile, ed Aristotile lo aveva attribuito ad un preteso orrore della natura pel vuoto, così la stessa spiegazione fu ritenuta per gli effetti della tromba aspirante.

Or mentre questa spiegazione era da tutti ammessa, alcuni fontanieri fiorentini avendo voluto costruire delle trombe, il cui tubo di aspirazione era più alto dell'ordinario, videro con sorpresa che l'acqna pervenuta all' altezza di circa 32 piedi cessava di elevarsi. E si racconta che ne interrogassero il Galilei, e questi rispondesse che la Natura inorridisce il vuoto fino a 32 piedi, e che passato questo limite le passa la paura.

Ma prima di venire alla vera spiegazione del fatto, gioverà osservare che tanto Aristotile, che pel primo ricorse all' orrore pel vuoto, quanto Galilei che lo ammise con tutti i fisici del suo tempo, entrambi conoscevano esser l'aria un corpo pesante. Aristotile conobbe il peso dell'aria vedendo che un otre pesa più quando è gonfiato, e Galilei aveva trovato che un fiasco di vetro, in cui l'aria sia stata compressa, cresce di peso. Ma il solo concetto di esser l'aria pesante non bastava per chiarire gli effetti della tromba aspirante; bisognava conoscere ancora che

la pressione prodotta dalla pesantezza dell'aria sull'acqua sottoposta, vi si diffonde in modo per ogni verso, da promovere nella massa liquida una spinta dal basso in alto. Bisognava in somma conoscere il principio di egual pressione; il quale prima che d'Alembert lo vedesse in tutta la sua generalità e potesse in conseguenza formularlo, non era stato che semplicemente intuito in alcuni casi particolari, come fu per Archimede nello scoprire la legge dei galleggianti, e come più tardi avvenne a Torricelli nel divinare la vera cagione dell'innalzamento dell'acqua nelle trombe aspiranti.

76. Il fatto che l'acqua nelle trombe aspiranti non possa salire ad una altezza maggiore di 32 piedi, fece pensare a Torricelli, discepolo di Galilei, che il fenomeno potesse venir prodotto da pressione esterna; e che se così andasse la cosa, il mercurio 13 volte e mezzo più pesante dell'acqua dovrebbe salire ad un'altezza altrettante volte minore, vale a dire poco più di 28 pollici. Perciò egli prese un tubo lungo una trentina di pollici e chiuso in un'estremità, lo riempì esattamente di mercurio, lo capovolse in un bagno dello stesso metallo, e trovò che realmente il mercurio vi restava sospeso per la lunghezza di circa 28 pollici. Sperimento di Torricelli.

La vera cagione dell'innalzamento dell'acqua nelle trombe aspiranti veniva così ad essere svelata; e l'esperimento del Torricelli, come quello che chiariva immaginario un principio ammesso per venti secoli, recò non poca sorpresa ai fisici del suo tempo. La nuova se ne diffuse rapidamente, e Pascal in Francia fu tra i primi ad averne contezza. Egli volle sottoporre il concetto del fisico italiano ad una prova decisiva; fece trasportare il nuovo apparecchio sulla montagna del Puy-de-Dôme per vedere se realmente il mercurio discendesse nel tubo a misura che veniva trasportato più in alto, ed il fatto vi corrispose a capello. Egli stesso trasportandolo dalla base alla sommità di un'alta torre in Parigi, osservò una sensibile diminuzione nell'altezza della colonna di mercurio.

77. Sopra tutti quei siti della superficie terrestre che stanno a livello del mare l'aria dunque preme con una forza eguale al peso di una colonna di mercurio di egual Pressione dell'aria sul corpo umano.

base ed alta 28 pollici ossia 760 millimetri. Il corpo umano n'è premuto secondo la stessa ragione; e poichè il valore medio della sua superficie è di un metro quadrato e mezzo, ossia di 150 decimetri quadrati, così il volume della colonna di mercurio, equivalente in peso alla pressione che l'aria vi esercita, è di:

$$150 \times 7{,}6 = 1140 \text{ decimetri cubici.}$$

Ogni decimetro cubico di mercurio pesando chil. 13,5, la pressione sul corpo umano di media superficie sarà di:

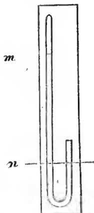
$$1140 \times 13{,}5 = 15390 \text{ chilogrammi.}$$

Questa enorme pressione, indispensabile alle funzioni della vita organica, non è da noi avvertita, come quella che agisce su noi fin dal momento che cominciammo ad essere nell'utero di nostra madre. Possiamo però avvertirne la mancanza, come avviene quando con uno strumento succiatore qualunque si agisce su qualche punto della nostra pelle; la vediamo allora gonfiarsi ed arrossire pel sangue, che ivi arresta in parte il suo moto e si accumula.

Barometro. 78. Scoperta la pressione atmosferica dal Torricelli, si pensò di avere il suo tubo sempre ordinato a poterla osservare; e così n'è venuto un nuovo strumento, a cui si è dato il nome di *barometro*, tolto dalle due voci greche *baros* peso e *metron* misura.

La prima forma che ha ricevuto l'istrumento, e che tuttavia meglio risponde allo scopo, è quella del *barometro a pozzetto*. Il quale si compone di un tubo di vetro, che dopo averlo riempito di mercurio e purgato di aria ed umidità, s'immerge coll'estremità aperta in un recipiente o *pozzetto* dello stesso liquido. Ordinariamente il pozzetto non è che un sacchetto di pelle chiuso in un cilindro di legno o metallo, che sta fermato ad una tavoletta sulla quale a lato del tubo è segnata una scala in pollici e linee del piede francese, ovvero in centimetri e millimetri. Alla tavoletta nei migliori barometri si trova sostituita una canna metallica, che prossimamente alla sommità della colonna di mercurio porta due finestre allungate e diametralmente opposte, che la lasciano vedere pel loro traver-

so. Il fondo poi del sacchetto di pelle è sostenuto da un piano che per mezzo di una vite si può elevare od abbassare, affinchè il livello del mercurio che vi è contenuto, si potesse sempre condurre all'altezza del punto da cui cominciano le divisioni della scala.



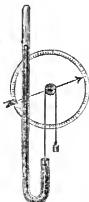
Dopo l'invenzione del barometro a pozzetto si ebbe quella del *barometro a sifone* (*fig.* 73), consistente in un tubo ricurvo a braccia disuguali, di cui il più lungo è chiuso, e per l'apertura dell'altro l'aria preme sul mercurio e lo mantiene sospeso a tale altezza nel braccio lungo, che il peso della colonna contenuta tra i due piani di livello *m* ed *n* pareggi la pressione atmosferica. Il tubo poi, egualmente che quello del barometro a pozzetto, sta fermato ad una tavoletta o chiuso in una canna metallica finestrata.

È da osservarsi però che le variazioni della pressione atmosferica riescono nel barometro a sifone meno appariscenti che in quello a pozzetto, essendo che nel primo esse si trovano bipartite tra le due estremità della colonna di mercurio. Poniamo, per esempio, che per un cangiamento avvenuto nella pressione dell'aria la colonna di mercurio debba salire 10 millimetri di più: poichè il livello *m* non può elevarsi senza che l'altro *n* si abbassi, è chiaro che quando il livello *m* si sarà innalzato di 5 millimetri, la lunghezza della colonna *mn* si sarà accresciuta di 10. Dunque bisognerà duplicare i cangiamenti di altezza osservati nella colonna mercuriale del barometro a sifone, per ottenere quelli che realmente sono avvenuti nella pressione atmosferica.

A rendere meglio apprezzabili i cangiamenti di pressione indicati dal barometro a sifone, si è pensato di trasformarlo in *barometro a quadrante* (*fig.* 74). Sul mercurio che sta nel braccio corto del sifone si è messo un galleggiante attaccato ad un filo, che passando per la gola di una gi-

rella porta nell'altro capo un contrappeso; alla girella poi sta fermato un indice scorrevole sulla

fig. 74



circonferenza di un cerchio, su cui a modo di gradi sono segnate le divisioni della scala. Poniamo che il raggio del cerchio sia 5 volte più grande di quello della girella; allora se il mercurio sale nel braccio corto di un millimetro, la girella si moverà per un arco egualmente lungo, e farà descrivere all'estremità dell'indice un arco di 5 millimetri. Così la variazione riuscirà più spiccata, come quella ch'è rappresentata da una lunghezza 5 volte più grande.

Correzione delle osservazioni barometriche.

79. La pressione barometrica non solamente è diversa secondo le altezze dei luoghi, ma varia ancora in uno stesso luogo e talvolta da un'ora all'altra. Questi cangiamenti però non potrebbero essere esattamente valutati, qualora le condizioni del barometro non fossero le stesse. Poniamo, per esempio, che la pressione atmosferica sia contemporaneamente osservata in due luoghi di eguali temperature, di eguali altezze sul livello del mare, ma di diversa latitudine, e che l'altezza della colonna di mercurio nel barometro più lontano dall'equatore si trovi minore di quella dell'altro. Sembrerebbe a prima vista che la pressione dell'aria dovesse nel 1° luogo esser minore che nel secondo, e purtuttavia ciò potrebbe non esser vero. Imperocchè crescendo la gravità (n° 46) secondo una certa ragione della latitudine, il mercurio nel barometro più lontano dall'equatore riuscirà più pesante di quello del barometro più vicino; e perciò ad una stessa pressione dell'aria dovrà nel 1° luogo far equilibrio una colonna di mercurio meno alta che nel secondo. Or se la differenza nelle altezze barometriche osservate è precisamente quella richiesta dalla variazione della gravità, allora la pressione atmosferica sarà la stessa nei due luoghi; e sarà viceversa nell'uno più o meno grande che nell'altro, quando la dif-

ferenza delle altezze barometriche riuscirà minore o maggiore di quella richiesta dalla differenza di gravità — Altrettanto fu d'uopo dire delle osservazioni barometriche fatte in luoghi diversamente alti sul livello del mare, essendo noto che la gravità varia in ragione inversa dei quadrati delle distanze dal centro della terra.

Or per toglier di mezzo gli errori che in conseguenza delle cose anzidette avverrebbero nella comparazione di osservazioni barometriche fatte in luoghi diversi per latitudine ed altezza, i fisici usano ridurle per via di calcolo a quelle che sarebbero state, se tutte si fossero eseguite sotto la latitudine di 45° ed a livello del mare. E soltanto a questo modo si potrà conoscere con certezza se la pressione dell'aria in un luogo sia stata realmente maggiore, eguale o minore di quella che si ebbe in un altro luogo.

Nè della sola differenza di latitudine ed altezza fa d'uopo tener conto nel comparare le osservazioni barometriche; bisogna considerarvi ancora la differenza di temperatura, imperocchè sotto un calore più o meno intenso il mercurio e la scala barometrica ne restano più o meno dilatati. Variando la dilatazione del mercurio, varia la sua densità e quindi l'altezza della colonna che deve equilibrare una data pressione dell'aria; e per la varia dilatazione della scala verrà cangiando ancora la distanza tra le sue divisioni ed in conseguenza il numero che ne resterà compreso in una data lunghezza. Per eliminare questa nuova cagione di errore è necessario che per mezzo di calcolo si riducano le osservazioni a quelle che sarebbero state se l'aria avesse avuto sempre ed in ogni luogo uno stesso grado di calore, ed all'uopo si è scelto lo zero termometrico.

In ultimo è necessario tener conto ancora del diametro del tubo barometrico, essendo noto (n° 74) che variando questo diametro, sarà vario anche l'abbassamento che la capillarità produce nella colonna di mercurio. Perciò si hanno delle tavole, nelle quali per ogni dato diametro del tubo barometrico si trova indicata la quantità da doversi aggiungere all'altezza osservata, perchè resti corretta della depressione recatavi dalla capillarità.

Come poi debba condursi il calcolo per ottenere le indicate correzioni, è cosa che non potremmo chiarire senza uscire dai limiti di un'opera di questa fatta, per la quale è sufficiente che il lettore abbia potuto comprendere la necessità di simili correzioni.

Effetti dinamici della pressione atmosferica.

80. Se in una parte dell'atmosfera se ne faccia variare la pressione, sia comprimendovi l'aria, sia rarefacendola, un disquilibrio verrà prodotto tra l'aria ambiente e l'aria rarefatta o compressa, e nel disquilibrio si avrà una cagione di moto. Così l'acqua s'innalza nelle trombe aspiranti, così ancora si pongono in azione gli apparecchi che andiamo a descrivere.

fig. 75



Il sifone — È un tubo ricurvo ACB (*fig. 75*) a braccia ineguali; il braccio corto si fa pescare nel liquido che si vuol estrarre dal suo recipiente, e dall'estremità B del braccio lungo si aspira l'aria finchè il liquido non vi giunga. Allora lasciando libera questa parte del tubo si avrà un efflusso continuo, che cesserà quando il liquido sarà disceso fino a toccare il livello dell'apertura A del braccio corto.

Consideriamo il sifone nell'istante in cui divenuto interamente pieno del liquido, viene abbandonato a sè stesso, e cerchiamo a quali forze si trova sottoposto il liquido contenuto. Immaginando un piano orizzontale menato pel punto culminante C della luce del tubo, sarà D*z* l'altezza della colonna liquida elevata nel braccio corto, e B*s* quella della colonna racchiusa nel braccio lungo. Se indichiamo con H l'altezza di una colonna dello stesso liquido che nel momento dell'esperienza farebbe equilibrio alla pressione atmosferica, il liquido contenuto nel sifone sarà spinto pel verso ACB da una forza eguale al peso di una colonna dello stesso liquido, avente per base la luce del tubo e l'altezza H — D*z*, e sarà poi respinto pel verso BCA da una forza eguale al peso di una colonna liquida della stessa base ed alta quanto H — B*s*. Or la differenza H — D*z* essendo maggiore di H — B*s*, la prima forza riuscirà più

grande della seconda, e da ciò la ragione del continuo efflusso.

fig. 76



Il vase di Mariotte — In parecchie ricerche fisiche fa d'uopo avere un efflusso liquido di costante velocità; ed a ciò provvede l'apparecchio denominato *vase di Mariotte* — Si abbia una boccia di cristallo (*fig. 76*) provvista verso il fondo di una cannella *a*, e che possa chiudersi con turacciolo di sughero attraversato dal tubo *bc*. Si empia di acqua la boccia, e vi si adatti il turacciolo facendo che il tubo scenda in *c'* all'altezza della cannella. Aprendo questa, si vedrà il liquido scendere rapidamente nel tubo, uscirne alquanto dalla cannella, e tosto fermarsi il getto. Se allora si faccia salire l'estremità inferiore del tubo ad un livello *sz*, si vedrà ricominciare il getto, mentre una serie di bollicine di aria uscendo da c si eleva nell'acqua per annidarsi nello spazio *mn*. La velocità dell'efflusso si troverà costante, e sarà più o meno grande secondo che il livello *sz* starà più meno alto sulla luce della cannella.

Tutti questi fenomeni non sono che altrettanti effetti di pressione squilibrata. Imperocchè cominciando dal fatto osservato quando l'estremità inferiore del tubo era in c', troviamo che l'acqua chiusa nel tubo, insieme alla pressione dell'aria trasmessa per l'apertura *b*, spingeva il liquido ad uscire dalla cannella, mentre che sulla luce esterna di questa il liquido veniva respinto dalla pressione dell'aria ambiente. Così il liquido si è trovato sotto due pressioni opposte e diseguali; ha dovuto ubbidire alla maggiore, ed il getto è cominciato. Ma quando il livello dell'acqua nel tubo è arrivato in *c'*, e che l'aria chiusa nello spazio *mn* si è trovata mercè l'efflusso liquido abbastanza rarefatta, perchè la sua tensione, unita alla pressione dell'acqua giacente nella boccia sul piano *hk*, avesse potuto equilibrare la pressione esterna che le veniva per le due aperture *a* e *b*, allora l'efflusso dalla cannella ha dovuto necessariamente venir meno.

Si è poi elevata l'estremità inferiore del tubo in c, ed in questo punto per via del tubo si è ottenuta una pressione eguale a quella dell'atmosfera, diminuita della somma delle pressioni fatte dall'aria esistente in *mn* e dall'acqua sovrastante al livello *sz*; e per via della cannella si è avuta un'opposta pressione, misurata dalla differenza fra la pressione atmosferica, e la somma delle pressioni fatte dall'aria annidata in *mn* e dall'acqua sovrastante al livello *hk*.

Le due pressioni fatte in *a* ed in c sì dall'aria esterna che da quella annidata nello spazio *mn*, si sono distrutte perchè eguali ed opposte; quindi è rimasta ad agire sulla luce della cannella la sola differenza delle pressioni del liquido su i piani *sz* ed *hk*, ossia quella operata dal liquido compreso tra questi due piani, la quale pressione rimane costante e produce in conseguenza una costante celerità di efflusso, finchè il livello del liquido nella boccia non discenda al disotto del piano *sz*.

Effetto ancora di squilibrata pressione atmosferica è l'efflusso di acqua che si ottiene da quei due giochetti fisici, che si appellano *fontana intermittente* e *fontana di Erone*.

Legge di Mariotte.

fig. 77



81. Un tubo ricurvo ABC (*fig. 77*), il cui braccio corto è chiuso e diviso in parti di eguali capacità, sta fermato sopra una tavoletta che a fianco del braccio lungo porta una scala divisa in millimetri, o in linee del piede parigino. Situata verticalmente la tavoletta e con essa il tubo, vi si versi tanto mercurio da empirne il gomito B: così nel braccio BC si troverà chiuso un volume di aria, il cui valore v sarà noto mercè la divisione dello stesso braccio in parti eguali. Versando poi nuovo mercurio nel braccio AB, si troverà che mentre il liquido in esso ascende e sarà giunto poniamo in E, si eleva ancora nell'altro braccio, restringendo ad un volume HC e che dinotiamo un v', l'aria che prima occupava tutto lo spazio BC. Indicando con h l'altezza della colonna di mercurio compresa tra i due

piani di livello E ed H, e con A l'altezza barometrica nel momento dell'esperienza, è chiaro che il volume v si trovava sotto la pressione A ed il volume v', minore del precedente, si è trovato sotto una pressione più grande, rappresentata da $A+h$. Or tra i volumi v e v' dell'aria compresa nel braccio BC, e le corrispondenti pressioni A ed $A+h$, troveremo, comparandone i valori, che esiste la proporzione:

$$v : v' :: A+h : A\,;$$

vale a dire che:

Il volume di una data massa di aria è in ragione inversa della pressione a cui soggiace.

E poichè il volume di un corpo non può decrescere senza che nella stessa ragione ne resti aumentata la densità, così potremo enunciare ancora il risultato dell'esperimento precedente sotto la forma:

La densità di una data massa di aria segue la ragion diretta della pressione a cui è sottoposta.

Queste relazioni tra il volume e la pressione a cui l'aria soggiace, o tra la densità e la pressione, costituiscono la così detta *legge di Mariotte*, quantunque fosse stata precedentemente scoverta da Boyle.

Conseguenza necessaria di questa legge è che l'aria deve riuscire più rara a misura che più lontana rattrovasi dal livello del mare, imperocchè crescendo l'altezza, minore riesce il peso della colonna sovrastante; e perciò avviene che i corpi, come sono i palloni aerostatici, che nelle basse regioni dell'atmosfera sono spinti a salire dall'aria ambiente perchè di questa più leggieri, cessano poi di elevarsi quando incontrano falde di aria egualmente pesanti. Al contrario i liquidi, che essendo quasi incompressibili hanno una densità presso a poco costante, non lasciano di spingere in alto i corpi immersi che ne sono più leggieri, se prima non li hanno resi galleggianti sulle loro superficie di livello.

82. Si hanno due specie di aeriformi, l'uno porta il nome di *vapori*, l'altro quello di *gas*. Tipo dei vapori è quell'aeriforme invisibile che continuamente si eleva dalla superficie delle acque, e che fa conoscere la sua costante Estensione della legge di Mariotte.

presenza nell'atmosfera riunendosi in forma di rugiada sulla faccia esterna di un bicchiere, in cui per avventura siasi versata dell'acqua assai fredda. A questa specie di aeriformi, come in seguito vedremo, la legge di Mariotte non può essere applicata che per semplice analogia ed in alcuni casi speciali; e così la quistione rimane limitata alla sola famiglia di aeriformi, a cui si è dato il nome di gas. Or bisogna distinguere i gas, che ad esempio dell'aria atmosferica e dell'idrogeno non si sono potuti giammai ridurre allo stato liquido, da quelli i quali come l'acido carbonico, il cloro ecc. si sono liquefatti sotto energiche pressioni coadjuvate da forte raffreddamento. I primi, ancorchè fortemente premuti, non presentano che piccole divergenze dalla legge di Mariotte; ma i secondi si contraggono più che questa legge vorrebbe, e la cosa riesce sensibile anche per pressione di 3 a 4 atmosfere.

XI.

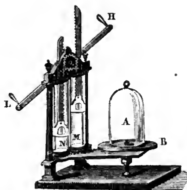
Macchina pneumatica.

Descrizione della macchina pneumatica — Sperimenti pneumatici — Peso dell'unità di volume dell'aria — Misura della densità dei gas.

Descrizione. 83. Questa macchina fu inventata nel 1650 da Ottone di Guerrick, borgomastro di Magdeburgo. Perfezionata successivamente da altri fisici, oggi d'ordinario si costruisce come si vede indicata nella (*fig. 78*). — Una campana A di cristallo, e che forma il *recipiente* della macchina, poggia sopra un piano circolare di vetro BC; nel centro *o* di questo piano prende origine un canaletto, che prossimamente ai corpi di tromba M ed N si divide in due, e pone le loro basi in comunicazione col recipiente della macchina. Gli stantuffi delle due trombe sono fermate ad aste dentate, le quali ingranano con una ruota anche provvista di denti, e che una leva LII fermata al suo centro può far rotare ora a destra ed ora a sinistra. Con questo moto alternato si fa salire uno degli stantuffi mentre l'altro discende, e viceversa: nella salita lo stantuffo aspira l'aria

dal recipiente, e nella discesa comprimendola contro il fondo della tromba la costringe a sollevare una valvola

fig. 78.



ed uscir fuori. Così operando, l'aria viene aspirata a poco a poco dal recipiente, ed il vuoto sarà giunto al suo limite quando l'aria si sarà di tanto rarefatta, che comunque compressa contro il fondo della tromba, non giunge purtuttavia ad acquistare la tensione necessaria a sollevare la valvola di uscita.

fig. 79.



Per poter giudicare il grado di rarefazione a cui si è pervenuto dopo aver fatto agire gli stantuffi per qualche tempo, evvi un piccolo strumento, denominato *provino*, e che consiste in un tubo ricurvo a bracci eguali (*fig. 79*), di cui l'uno è aperto, l'altro è chiuso e pieno interamente di mercurio mantenutovi dalla pressione dell'aria. Questo tubo, fermato ad una tavoletta provvista di scala, sta chiuso in una campanella di cristallo, la quale è in comunicazione col condotto che mena l'aria dal recipiente nei corpi di tromba. Così il grado di rarefazione dell'aria diviene eguale sotto le due campane, e può esser valutato mercè la differenza di livello che il mercurio presenta nei due bracci del tubo.

Sperimenti pneumatici.

84. — 1° La (*fig. 80*) rappresenta due emisferi cavi di ottone che si combaciano esattamente nelle loro basi. Uno degli emisferi porta un tubo che può fermarsi a vite sul meato della macchina pneumatica, e la cui comunicazione coll'aria esterna può essere stabilita od interrotta per mezzo della chiave B. Fermato il tubo sul meato della macchina e fatto il vuoto nel globo, questo si separi dalla macchina dopo aver chiusa la chiave B: si troverà che i due emisferi stanno fortemente premuti l'uno contro l'altro. Guerrick, inventore di questo apparecchio conosciuto sotto il nome di *emisferi di Magdeburgo*, nè costruì di tal diametro che facendoli tirare in opposte direzioni ora da 8 ed ora da 12 cavalli, non ne furono separati. Intanto situato il globo sotto la campana pneumatica e fatto in questa il vuoto, gli emisferi si separavano da loro stessi.

fig. 80.



—2° Quando gli Aristotetici insegnavano che i corpi cadendo dovessero acquistare velocità proporzionali ai loro pesi, Galilei in vece (n° 35) col celebre sperimento fatto a Pisa, dimostrò che in eguali condizioni la differenza di velocità nella caduta dei gravi è incomparabilmente minore di quella dei loro pesi, e che in conseguenza debba esser prodotta dalla resistenza dell'aria. La macchina pneumatica allora non esisteva; ma tosto che fu inventata, si pensò al modo di verificare il concetto del grande Italiano. L'apparecchio, all'uopo ideato, consiste in un tubo di vetro lungo di 5 a 6 piedi, e largo di 3 a 4 pollici; il quale in un'estremità è provvisto di ghiera metallica per poterlo fermare a vite sul meato della macchina pneumatica, e nell'altra è chiuso ermeticamente da un coperchio di ottone, a cui è unito un congegno atto a sostenere dei piccoli corpi e lasciarli poi cadere quando si vuole. Ponendo su quel sostegno un pezzetto metallico ed un fiocco di cotone, e lasciandoli poi cadere dopo aver fatto il vuoto, si vedranno i due corpi toccare nel tempo stesso il fondo del tubo.

—3° Conosciuto il principio di Archimede, si vide subito la ragione per la quale il fumo e la fiamma s'innalzano

nell'atmosfera. Questo fatto è perfettamente simile a quello che presenta il sughero immerso nell'acqua o il ferro nel mercurio. Gli Accademici del Cimento verificarono questo concetto per mezzo del vuoto barometrico; ma la prova riesce più agevole servendosi della campana pneumatica. Pongasi sotto di essa una candela accesa, e poi si facciano agire gli stantuffi: come il vuoto si andrà facendo, si vedrà la fiamma gradatamente illanguidire, farsi più corta, e finalmente estinguersi come se cadesse dal lucignolo. La qual cosa dimostra non solamente che la fiamma ed il fumo sono corpi pesanti, ma che l'aria è alimento indispensabile della combustione.

fig. 81.



—4° Colla macchina pneumatica si è potuto facilmente riferмare il principio di Archimede rispetto ai fluidi aeriformi. A tal uopo si ha un apparecchio denominato *baroscopio*, e che consiste in una bilancetta (*fig. 81*), dal cui giogo in vece di coppe pendono due palle, l'una fatta di sottile foglia di ottone, l'altra massiccia. Le due palle pesano egualmente, e perciò la prima ha un volume assai più grande della seconda. Esse mantengono la bilancetta in equilibrio; ma se l'apparecchio si pone sotto la campana pneumatica, basteranno pochi colpi di stantuffo a renderlo squilibrato, con pendenza del giogo dal lato della palla di maggior volume. Ciò dimostra che la seconda palla è realmente più pesante della prima, e che se nell'aria appariva di avere un peso eguale a quello dell'altra, la cosa avveniva perchè l'eccesso del suo peso si trovava compensato dalla maggior perdita che ne faceva per la sua immersione nell'aria.

—5° Per dimostrare che le molecole dell'aria, come quelle di ogni altro gas, si ripellono a vicenda, pongasi sotto la campana pneumatica una vescica, la quale dopo essere stata bagnata e poi compressa per lasciarvi la minima quantità di aria, sia stata fortemente serrata nel collo perchè quel poco di aria non potesse uscirne. Facendo agire gli stantuffi, si vedrà la vescica gradatamente gonfiarsi fino a rimanerne interamente distesa; e la vedremo poi

stringersi nel primo volume, tosto che faremo rientrare l'aria sotto la campana.

—6° Pongasi sul meato della macchina un tubo metallico, spianato nella sua base affinchè possa ben combaciare col piatto, e di un diametro che non ecceda in apertura la palma della mano. Chiudendolo con questa, osserveremo che basteranno pochi colpi di stantuffo a rendere molesta la pressione dell'aria esterna. E se il tubo si chiuda con un pezzo di vescica attaccatovi attorno, ovvero adagiandovi una sottile lamina di vetro, vedremo l'uno o l'altro andare in pezzi con un forte scoppio, quando il vuoto sarà stato abbastanza protratto.

Peso dell'unità di volume dell'aria. 85. Si prenda un globo della capacità di circa 10 litri, e che abbia un collo chiuso da ghiera metallica, la quale porti come appendice un tubo con chiave, che per mezzo di vite possa fermarsi al meato della macchina pneumatica. Così nel globo potrà farsi il vuoto, e si potrà separarlo dalla macchina senza che l'aria vi rientri. Poniamo che tutto ciò siasi fatto, e che poi il globo sia stato pesato. Allora, aperta la chiave, lasciamo il globo empirsi di aria perfettamente secca, e torniamo a pesarlo; è chiaro che l'eccesso del secondo peso sul primo ci dirà quanto è il peso dell'aria contenuta nel globo, e che se dividiamo questo peso pel numero di litri di cui il globo è capace, sapremo quanto pesi un litro di aria.

Questo peso però dovendo riuscir vario a norma del calore e della pressione a cui l'aria è sottoposta nel tempo dell'esperimento, si è dovuto stabilire sotto quale pressione e con qual grado di calore l'aria dovesse trovarsi, e si è convenuto che la pressione debba esser quella indicata dall'altezza barometrica di 760 millimetri, e che il grado di calore sia quello dello zero termometrico. Ma non è stato necessario che lo stato dell'aria rendesse soddisfatte queste due condizioni per definirne il peso, imperocchè per mezzo della legge di Mariotte che già conosciamo, e di una altra legge che conosceremo studiando le dilatazioni prodotte dal calore, si è potuto dedurre dal risultato ottenuto nelle circostanze dell'esperimento quello che si sarebbe avuto, se la pressione fosse stata di 760 millimetri di mercurio e la temperatura fosse stata quella dello zero termometrico.

È d'uopo intanto osservare che l'altezza barometrica di 760 millimetri non rappresenta una pressione costante se tali non sieno la latitudine e l'altezza del punto di osservazione, imperocchè ci è noto (n.i 46 e 51) che variando questi due dati, vario ancora viene ad essere il peso del mercurio. Quindi è stato necessario di scegliere ancora una latitudine ed un'altezza, e si è voluto che la prima fosse quella di 45°, e la seconda si riponesse nel livello del mare. E così si è trovato che alla temperatura 0°, sotto la latitudine di 45°, l'altezza barometrica di 760 millimetri ed a livello del mare, un litro di aria pesa 1 grammo e 293 milligrammi.

86. Collo stesso metodo, con cui si è determinato il peso dell'aria contenuta nel globo di cristallo descritto nel n° precedente, si potrà determinare quello di ogni altro gas di cui il globo si empie in circostanze perfettamente simili di pressione e temperatura. Così sotto identiche condizioni si avranno i pesi di due volumi eguali, l'uno di aria l'altro dell'aeriforme messo a prova; e prendendo ad unità la densità dell'aria, avremo quella dell'altro gas dividendo il suo peso per quello dell'aria. **Misura della densità dei gas.**

Questo metodo però non è applicabile alla misura della densità dei vapori, imperocchè questi aeriformi in contatto della parete interna del globo di cristallo ritornerebbero in parte allo stato liquido; e neppur lo sarebbe a quei gas che chimicamente agissero sull'appendice metallica, per cui il globo va fermato alla macchina pneumatica. Metodi speciali sono stati escogitati per determinare la densità di queste due classi di aeriformi, e che i limiti di quest'opera non ci permettono di esporre.

XII.

Equilibrio degli aeriformi nelle loro mescolanze.

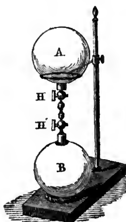
Diffusione — Natura dell'atmosfera terrestre.

87. È noto (n° 63) che più liquidi di diversa densità ed insolubili l'uno nell'altro, versati che sieno in un reci- **Diffusione.**

piente, vanno ordinandosi da loro stessi a suoli orizzontali in modo che il liquido più leggiero sovrasti sempre al più pesante.

Assai diverso è poi l'ordinamento che gli aeriformi seguono nelle loro mescolanze; imperocchè spinti dalla reciproca ripulsione molecolare a vicendevolmente penetrarsi, ne avviene che nell'equilibrio finale tutti si troveranno egualmente ripartiti nella somma degli spazii che prima individualmente occupavano. Ed il celebre chimico francese Berthollet fece all'uopo l'esperimento che segue:

fig. 82.

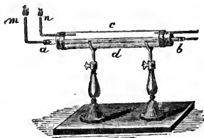


Due globi di cristallo A e B (*fig. 82*), provvisti di appendici metalliche per potersi insieme unire, e delle chiavi H ed H' per aprire o chiudere la loro interna comunicazione, furono empiti il primo di gas idrogeno e l'altro di acido carbonico; due gas che non hanno vicendevole azione chimica, e di cui il primo è meglio che 22 volte più leggiero del secondo. I due globi furono trasportati nelle cave dell' Osservatorio di Parigi, ove regna un calore costante in tutto il corso dell'anno; e ce n'era bisogno, per impedire che un cangiamento di temperatura non avesse generato nella massa gassosa correnti perturbatrici del suo equilibrio molecolare. Ivi i due globi furono congiunti mercè le loro appendici metalliche; e disponendoli in modo che quello contenente l'idrogeno rimanesse in alto, si tennero separate le loro capacità mercè le chiavi H ed H', pel tempo che fu stimato necessario a metterli in equilibrio di temperatura collo spazio ambiente. Indi si aprirono le chiavi, si lasciarono i gas tranquillamente equilibrarsi tra loro; e quando poi si venne ad esaminare il contenuto dei globi, si trovò che l'idrogeno

e l'acido carbonico, non ostante la grande differenza delle loro densità, vi stavano egualmente ripartiti.

Questa tendenza nelle molecole degli aeriformi a contatto, di spingersi a vicenda le une tra le altre, ha ricevuto il nome di *diffusione*; la quale non cessa di agire neppure attraverso le pareti dei loro recipienti. Ed a questo riguardo è notevole il seguente sperimento di Sainte-Clair Deville.

fig. 83.



Per un tubo *ab* di terra porosa (*fig. 83*) si fa passare una corrente di gas idrogeno, e si accende il getto ch'esce dall'estremità *m*: indi s'immette una corrente di acido carbonico pel tubo *cd* che circonda il primo, e si vedrà la fiamma in *m* raccorciarsi a poco a poco sino a spegnersi del tutto, mentre una candela accesa avvicinata al buco *n* si vedrà dar fuoco al getto gassoso che n'esce. La qual cosa dimostra — 1° Che attraverso la materia porosa del tubo *ab* vi è penetrata una corrente di acido carbonico, e n'è uscita un'altra d'idrogeno — 2° Che l'idrogeno si è trovato in eccesso nel mescuglio gassoso uscito da *n*, come lo è stato l'acido carbonico nel getto di *m*.

Natura dell'atmosfera terrestre.

88. Il fluido gassoso, che circonda il nostro globo, non è un corpo semplice: vi sta il vapore nascente dall'acqua copiosamente sparsa sulla superficie terrestre; vi è l'acido carbonico prodotto dalle combustioni e dalla respirazione degli animali; vi sono tutte le esalazioni che emanano da

tanti corpi diversi, ed in fine un' immensità di corpuscoli galleggianti. Ma tutte queste diverse sostanze non sono che aggiunte all' aria propriamente detta, la quale è una semplice mescolanza di ossigeno ed azoto, ed in conseguenza una diffusione dell' uno nell' altro gas. Perciò non deve recar meraviglia che l'aria ovunque raccolta, sia nei viaggi aerostatici o sugli alti monti, sia nelle basse valli, nelle sale degli ospedali, o sulle maremme, le risaje, ecc. abbia presentata una ragione costante dell'ossigeno all'azoto, ch' è quella di 1 a 4. Noi siamo circondati da due atmosfere, l'una di ossigeno, quattro volte minore dell' altra che è di azoto: queste due atmosfere stanno diffuse tra loro, ed in conseguenza ovunque la respirazione degli animali o una combustione consumi dell' ossigeno, ne accorrerà da tutte le parti della massa atmosferica; e similmente avviene ancora che l' ossigeno prodotto dalla respirazione delle piante, vi si diffonda in eguale misura. Così, senza esser effetto di una combinazione chimica, che d' altronde sarebbe inammissibile, la ragion costante dell' ossigeno all' azoto nell' aria atmosferica è una conseguenza necessaria della mutua diffusione di questi due elementi.

ACUSTICA.

I.

Produzione e conduzione del suono.

Natura del suono — Modo di trasmissione — Forma dell' onda sonora — Misura della celerità del suono.

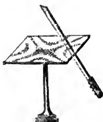
89. Il suono in noi non è che una sensazione, che riceviamo per mezzo dell'orecchio e che sappiamo dipendere dall'azione di alcuni corpi, che perciò diciamo *sonori*. In conseguenza la prima quistione che si presenta, facendoci a studiare il suono, è quella di voler sapere in che consista l'azione dei corpi sonori, e come al nostro orecchio venga trasmessa. Natura del suono.

Se ci facciamo a guardare la corda di un pianoforte colpita dal martelletto o quella di un violino eccitata dall'arco, la vedremo apparirci più larga nel mezzo che verso i punti estremi; e se vi poggiamo su un dito, lo sentiremo scosso da forte tremolio. Un fatto consimile osserveremo toccando una campana percorsa dal battaglio, ovvero una tromba quando il suonatore vi dà fiato.

Questi fatti ci dimostrano che nell'atto della produzione di un suono le molecole del corpo sonoro sono agitate da rapide oscillazioni, vibrando come farebbero dei pendoli semplici d'infinitesima lunghezza. Ed a meglio chiarire questo concetto aggiungiamone qualche altra prova.

Dopo aver impolverata (*fig. 84*) di sottilissima sabbia una lamina temperata di ottone, orizzontalmente fermata ad un sostegno, stropicciamola in qualche punto del suo contorno con un arco di violino; ne avremo un suono, mentre i granelli di sabbia si vedranno saltellare, e riunirsi in alcune linee che sovente producono di assai belle figure. E se in vece di sabbia stendiamo sulla lamina un velo di liquido alquanto viscoso, lo vedremo agitarsi come la superficie di un mare in burrasca.

fig. 84.



Aggiungiamo ancora, che se in una canna di organo (*fig. 85*), che abbia una delle facce in cristallo per potervi guardar dentro, immergiamo, mentre essa suona, una sottile membrana distesa sopra un piccolo quadretto di cartone, e sulla quale sia sparsa della polvere leggiera e secca, vedremo questa lanciata via dal suo sostegno per impeto delle vibrazioni dell'aria contenuta nella canna.

fig. 85.



Ed evvi tale dipendenza tra un fatto e l'altro, che talvolta un suono inaspettato ha fatto scoprire l'esistenza di una vibrazione dove non si sarebbe potuta immaginare. Nel 1805 Schwartz ponendo una coppa di argento, ch'era calda, sopra un'incudine fredda, vide con sorpresa che si produceva un suono: l'esperimento fu ripetuto dal prof. Golbert, che si accorse di un tremore nella coppa.

Più tardi, nel 1829, Trevelyan volendo stendere della resina con un ferro da saldare, trovava il ferro troppo caldo e per attendere che scendesse al giusto grado di calore lo appoggiava ad una massa di piombo. Appena il contatto ebbe luogo, saltò fuori un suono acuto, e fattosi a meglio esaminar la cosa, Trevelyan trovò che il ferro rapidamente barcollava sul piombo.

Così ancora l'*armonia chimica*, ossia quel suono che si ottiene coprendo con un tubo di vetro una fiammella di idrogeno, ci fa conoscere che ivi l'aria è messa in vibrazione dalla combustione del gas. Ed una vibrazione ancora per cangiamento di temperatura, rapidamente alternato, si scopre nell'esperimento di Rijke; il quale consiste in arroventare con una fiamma di alcoole (*fig. 86*) una rete metallica, donde è chiuso nel 3° della sua lunghezza un tubo di vetro. Allontanata la fiamma bentosto comincia un suono lamentevole, che a poco a poco si rinforza, raggiunge il suo massimo vigore, poi va scemando come la tela metallica si raffredda, e finalmente si spegne del tutto.

fig. 86.



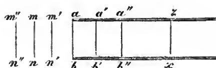
Modo di trasmissione.

90. Tra i diversi sperimenti pneumatici vi è quello di porre sotto la campana una macchinetta, nella quale un congegno di orologeria pone in moto un martellino che batte ripetutamente sopra un campanello. La molla, che dà moto al congegno, è arrestata nella sua azione da una leva, il cui ostacolo può esser rimosso per mezzo di un'asta ricurva che penetra nell'interno della campana: così la macchinetta può lasciarsi andare quando si vuole. Poniamo che l'interno della campana sia stato perfettamente diseccato mercè qualche sostanza avidissima dell'umidità dell'aria; che la macchinetta riposi sul piatto mediante un soffice cuscino, o meglio che stia sospesa a fili di seta; e che in fine il vuoto sia stato fatto a meno di un millimetro. Allora lasciando andare il moto del congegno perchè lo scampanio si produca, l'osservatore vedrà il martellino battere a colpi ripetuti sul campanello senza udire verun suono; ma se faccia rientrare l'aria a poco a poco, udirà sul principio un suono debole, che poi andrà rinforzandosi come crescerà la quantità d'aria rientrata.

È dunque l'aria che mena il suono al nostro orecchio; essa però non è il solo veicolo che possa trasportarlo. Se nell'esperimento pneumatico qui sopra descritto si fa-

cesse poggiare il congegno dello scampanio immediatamente sul piatto della macchina, il suono continuerebbe ad essere udito non ostante il vuoto già fatto; la qual cosa dimostra che il suono può esser trasmesso per mezzo di corpi solidi. Che anzi i corpi di questa specie lo conducono meglio dell'aria, e n'è prova il seguente fatto. Adagiando l'orecchio all'estremità di una lunga trave, mentre nell'altra viene strofinata colla punta di uno spillo, si sentirà distintamente il rumore, ma se l'orecchio si scosti per poco dalla trave, non si udirà più nulla. E qui appresso vedremo che anche l'acqua trasmette i suoni meglio che l'aria.

fig. 87.



Le vibrazioni dei corpi sonori son dunque trasmesse all'orecchio per mezzo dell'aria o di altro corpo interposto; ma in qual modo? — Rappresenti mn (*fig. 87*) una lamina che vibrando trascorra da $m'n'$ in $m''n''$, ed ax sia un tubo aperto nelle due estremità ed infinitamente lungo. Quando la lamina procede da $m''n''$ in $m'n'$ e preme in conseguenza contro l'aria che le sta davanti, poniamo che la compressione, che ne risulta, proceda nel tubo dalla falda ab all'altra $a'b'$, vale a dire che ne resti compressa tutta l'aria racchiusa dai piani ab ed $a'b'$. Ritornando la lamina in $m''n''$, lascia dietro di sè un vuoto, e quindi produce una rarefazione nell'aria che ne segue il movimento; la quale rarefazione invaderà la falda di aria $aa'b'b$, mentre il primo moto di compressione procedendo innanzi avrà colpita l'egual falda $a'a''b''b'$. Nel successivo ritorno della lamina in $m'n'$, la massa di aria $aa'b'b$ sarà nuovamente compressa, mentre la rarefazione avrà raggiunta la falda $a'a''b''b'$; e così nelle diverse oscillazioni della lamina mn le due metà dell'aria giacente tra i piani

ab ed *a''b''* si troveranno vicendevolmente l'una compressa e l'altra rarefatta. Dicasi altrettanto delle rimanenti falde di aria, che al pari di quella compresa tra i piani *a''b''* e *zx*, sono egualmente estese che la prima.

La trasmissione del suono avviene dunque per continuo avvicendarsi di compressione e rarefazione nelle successive falde del mezzo che lo conduce. Una falda condensata e la sua contigua rarefatta costituiscono un'*onda sonora*, la quale in conseguenza si divide in *semionda condensata* e *semionda rarefatta*.

91. Pel modo con cui nel n.° precedente abbiamo immaginato che il suono si producesse, l'aria contenuta nel tubo prossimo alla lamina vibrante, doveva patire compressioni ed espansioni in falde necessariamente terminate da piani perpendicolari all'asse del tubo. Ma se poniamo che il corpo sonoro sia un campanello, od altro corpo che suonando scuota per ogni verso il mezzo che lo circonda, allora gli addensamenti e le espansioni dovranno a mano a mano estendersi in falde concentriche al corpo sonoro, e le onde si troveranno necessariamente terminate da superficie curve. Le quali saranno sferiche, se il mezzo che sta intorno al corpo sonoro, è per ogni verso egualmente atto a condurre il suono; e saranno poi sferoidi allungate o depresse, se per una di due direzioni ad angolo retto il suono vada più o meno celeremente che per l'altra. Forma dell'onda sonora.

Conseguenza necessaria della forma sferoidale dell'onda sonora è l'indebolimento del suono a misura che cresce la distanza dal centro sonoro. Imperocchè quell'impeto meccanico che il corpo sonoro fa sul mezzo ambiente, dovendo estendersi a superficie sempre più grandi, ne resterà d'altrettanto scemato; e poichè le superficie delle sfere seguono la ragion diretta dei quadrati dei loro raggi, così l'intensità del suono dovrà seguire la ragione inversa dei quadrati delle distanze dal centro sonoro, vale a dire che dovrà esser 4 volte minore ad una distanza doppia, 9 volte minore ad una distanza tripla, ecc.

Questa legge può esser chiarita con un facile sperimento. Si scelgano cinque campanelli di egual suono, e si facciano suonare quattro in un punto, ed il quinto in

un altro a sufficienza lontano dal primo; indi l'osservatore si muova sulla retta che unisce i due punti, e si fermi là dove udirà suono egualmente forte da una parte e dall'altra. Se allora misuri le distanze del punto da esso occupato, da quelli dei campanelli, troverà che quel punto sta lontano dai quattro campanelli due volte tanto che dal quinto. È bastata dunque una distanza doppia, perchè il suono dei quattro campanelli sia divenuto 4 volte minore, ed in conseguenza eguale a quello di un solo.

Or se l'accresciuta superficie dell'onda è causa che i suoni vadano rapidamente scemando di forza, è necessità poi che questa forza si conservi costante, finchè la superficie dell'onda rimane la stessa. Sperimentando sopra i tubi degli aquedotti di Parigi Biot ha trovato che la colonna di aria ivi rinchiusa e lunga 950 metri, trasmetteva talmente inalterata la forza del suono, che parlando a voce bassissima in un'estremità dell'acquedotto, le parole si udivano distintamente nell'altra.

Mercè lo stesso principio si dà ragione degli effetti del *portavoce* e del *cornetto acustico*. Il portavoce, strumento inventato dal cav. Morland nel 1670, è un tubo conico che da una parte finisce con un'imboccatura da potervi introdurre le labbra senza che i loro movimenti nel pronunziar le parole ne vengano contrariati, e nell'altra estremità si allarga a modo di campana. L'istrumento è destinato a trasmettere la parola a grande distanza; e per comprendere come ciò possa avvenire, immaginiamo una sfera che abbia centro nell'imboccatura, ed un raggio lungo quanto il portavoce. Senza l'istrumento la voce si sarebbe sparsa su tutta la superficie sferica da noi immaginata, mentre per opera del portavoce essa rimane condensata sull'apertura della campana; perciò alla stessa distanza dovrà riuscire tanto più forte, per quanto l'apertura della campana è minore di quella superficie sferica. Quindi si comprende come a dati eguali riescano più efficaci i portavoce più lunghi. Quelli adoperati a bordo delle navi di rado raggiungono la lunghezza di 2 metri, ma in Inghilterra se ne son costrutti alcuni lunghi 7 metri, e coi quali si è potuta trasmettere la parola a circa 4 chilometri.

Nel *cornetto acustico* al contrario l'onda sonora va scemando di superficie e perciò crescendo di energia, dall' imboccatura in cui la parola si pronunzia, fino alla punta del cornetto che s' introduce nell'orecchio.

92. Dal modo stesso con cui l'onda sonora si produce, risulta che il suono deve impiegare per giungere al nostro orecchio, un tempo tanto più lungo, quanto il corpo sonoro n' è più lontano. Così avviene che nello sparo di un'arma da fuoco, nello scoppio di un fulmine, osserviamo tra l' istante in cui ci apparisce il fuoco della polvere o la luce del baleno, e quello in cui udiamo il rumore, un tempo più o meno lungo secondo che ci troviamo più o meno lontani dal luogo occupato dall' arma o dalla nube temporalesca. **Misura della celerità del suono.**

Per misurare la celerità del suono nell' aria si sono scelti due punti abbastanza lontani, perchè facendo sparare di notte un cannone in uno dei due punti, l'osservatore situato nell' altro udisse il colpo parecchi secondi dopo l' apparizione della fiamma. Essendosi precedentemente determinata la distanza dei due punti, è bastato dividerla pel numero dei secondi trascorsi, per conoscere quanto cammino il suono aveva fatto in un secondo.

La teoria aveva preveduto e l' esperienza ha poi riffermato che la celerità del suono nell'aria deve crescere col grado di calore; in conseguenza dev' essere maggiore di giorno che di notte, più grande di està che d' inverno. Quando l' aria trovasi alla temperatura 0°, il suono percorre 331 metri in ogni secondo. Questo numero bisognerà poi accrescerlo o diminuirlo di tante volte $0^{m},60$ per quanti gradi di temperatura l'aria avrà sopra o sotto lo zero termometrico. Così ponendo che la temperatura sia di 15 gradi sullo zero, il suono avrà la celerità di 340 metri a secondo.

Se il grado di calore influisce a rendere più o meno grande la celerità del suono nell' aria, l' altezza barometrica non vi prende alcuna parte. Il vento poi l'accresce o diminuisce secondo che spira per lo stesso verso o in direzione contraria.

Anche nell' acqua la celerità del suono è stata determinata direttamente con esperimenti che sul lago di Gi-

nevra furono eseguiti nel 1826 da Colladon e Sturm. Furono in quel lago ancorate due barche alla distanza di 13 chilometri e mezzo; dall'una pendeva nell'acqua una campana, nell'altra erano gli osservatori. La leva, che moveva il battaglio, dava fuoco a della polvere da sparo nel medesimo istante in cui la campana era percossa; così gli osservatori erano avvertiti dell'istante in cui il suono partiva, e che poi udivano adagiando l'orecchio all'estremità superiore di un lungo tubo, il quale inferiormente allargato e chiuso da membrana pescava nell'acqua. In questo modo si è trovato che il suono nell'acqua percorre 1435 metri in ogni secondo, ed ha in conseguenza una velocità più che quadrupla di quella che ha nell'aria.

L'aria e l'acqua sono i soli due corpi, pei quali la celerità del suono si è potuta misurare direttamente. La celerità negli altri corpi si è poi dedotta dal grado del suono che essi possono produrre sotto date condizioni. Così si è determinata la celerità del suono in parecchi solidi, in alcuni liquidi diversi dall'acqua, e negli aeriformi diversi dall'aria.

II.

Riflessione e rifrazione del suono.

Riflessione del suono — Prova sperimentale — Eco — Cagioni che fanno udire a maggiori distanze i suoni notturni — Rifrazione del suono — Indice di rifrazione.

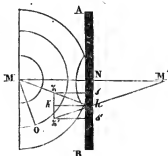
Riflessione del suono.

93. Diciamo *raggio sonoro* ogni retta, che partendo da un centro di vibrazione acustica, va diretta pel verso in cui la vibrazione mercè condensamenti ed espansioni si trasmette nel mezzo conduttore del suono. Quindi i raggi sonori saranno rette parallele nel caso di onde piane, quali son quelle che trasmettono un suono per l'aria contenuta in un lungo tubo, e rette divergenti qualora l'onda sonora abbia forma sferica o semplicemente sferoidale.

Rappresenti M (*fig. 88*) un centro di vibrazione, ed AB un ostacolo che supponiamo incontrarsi dalle onde sonore

sul loro cammino. Conduciamo il raggio Mh ad uno dei punti in cui l'onda è tagliata da AB, e rappresentiamo con zh l'impeto con cui le molecole del mezzo si addensano e si rarefanno lungo il raggio sonoro Mh. Decomponiamo la forza zh nelle due sh e kh, la prima tangente e la seconda normale (1) ad AB, e così avremo che la sh rimarrà invariata nell'urto della molecola contro l'ostacolo AB, e la kh sarà riprodotta in hk dall'elasticità del mezzo.

fig. 88.



Quindi dopo l'urto saranno componenti la hk e la $hs'=sh$, la cui risultante è hz'; ed in conseguenza un osservatore che si trovasse in un punto qualunque O della retta hz', riceverebbe da M un *suono diretto* mercè un'onda di raggio MO, ed un *suono riflesso* da un'onda di raggio $Mh+hO$. Or conducendo dal punto M la MN perpendicolare ad AB e prolungando la $z'h$ finchè incontri l'altra in M', avremo i due triangoli rettangoli MNh, $M'Nh$, i quali sono eguali perchè hanno comune il cateto Nh ed eguali gli angoli acuti M ed M'; sarà dunque $Mh=M'h$, e l'onda riflessa che in O ha il raggio $Mh+hO$, potrà considerarsi come avente il raggio M'O, ossia come avente in M' un *centro virtuale* di vibrazione, che rispetto al piano AB giace simmetricamente al *centro reale* M.

Dalla costruzione stessa della figura si rileva che i due raggi sonori, Mh ed hO, di cui il primo dicesi *incidente* ed il secondo *riflesso*, stanno in un piano perpendicolare

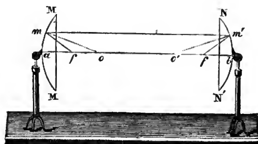
(1) Pel lettore, che appena conoscesse i primi elementi di Geometria, gioverà dire che trattandosi di superficie piana, *normale* e *perpendicolare* significano la stessa cosa; *normale* poi ad una superficie curva vuol dire *perpendicolare* al piano tangente la superficie, e menata pel punto di contatto.

alla superficie riflettente AB, e formano colla normale *hk* i due angoli eguali M*hk* ed O*hk*, dei quali il primo si denomina *angolo d'incidenza*, il secondo *angolo di riflessione*. Quindi la legge:

Nella riflessione del suono i raggi sonori delle onde incidenti e quelli delle onde riflesse formano angoli eguali colle normali menate pei punti d'incidenza.

Prova sperimentale. 94. Che il suono possa riflettersi, e che riflettendosi ubbidisca all'indicata legge, lo si prova con un facile sperimento. Si prendano due specchi sferici, M ed N (*fig. 89*),

fig. 89.



e si dispongano in modo che i loro assi si confondano in una sola retta *ab*. Supponendo che *o* ed *o'* sieno i centri delle sfere, di cui gli specchi formano parte, immaginiamo che nel punto medio *f* del raggio di curvatura *oa* sia situato un centro di vibrazione, da cui muova il raggio sonoro *fm*, che faccia coll'asse *ab* un angolo assai piccolo. Potremo in conseguenza riguardare come eguali le rette *fm* ed *fa*, e quindi come isoscele il triangolo *ofm*. È noto della Geometria che tutti i raggi di una superficie sferica sono ad essa normali; perciò se il raggio sonoro *fm* sarà riflesso dallo specchio M in modo che l'angolo di riflessione risulti eguale a quello d'incidenza, esso dovrà essere rinviato secondo la *mm'* parallela all'asse *ab*, imperocchè dovendo essere l'angolo $omm' = omf$, e nel triangolo isoscele *fmo* l'angolo $fmo = fom$, sarà $fom = omm'$,

e quindi mm' parallela ad ab. Conducendo nello specchio N la normale $o'm'$ al punto in cui sarà colpito dal raggio sonoro mm' riflesso dallo specchio M, avremo (se una seconda riflessione deve aver luogo ed a norma della stessa legge) che il raggio mm' sarà rinviato dallo specchio N secondo $m'f'$, facendo l'angolo $o'm'f'=mm'o'$. Ma essendo mm' parallela ad ab, sarà l'angolo $mm'o'=m'o'f'$; il triangolo $o'm'f'$ sarà isoscele, ed $f'b$ prossimamente eguale ad $f'm'$ lo sarà ancora ad $f'o'$; in conseguenza il raggio sonoro fm, partito dal punto medio di ao', dopo due riflessioni incontrerà nuovamente l'asse ab nel punto f' medio di $o'b$. Dovendosi dire altrettanto di ogni altro raggio sonoro che parte da f e fa un piccolo angolo con ab, ne segue che ciascuno di essi dopo due riflessioni dovrà passare pel punto f'; ed in conseguenza un piccolo orinolo situato in f, dovrebbe far sentire distintamente in f' i battiti del bilanciere. E poichè questa prova riesce perfettamente, così bisogna dire che realmente il raggio sonoro fm procede nel modo anzidetto, e che in conseguenza la legge enunciata nel n° precedente è una realtà.

95. L'eco è prodotta dalla riflessione delle onde sonore, e giustamente gli Ebrei l'appellano *figlia della voce*. La riflessione può avvenire contro gli alberi di una foresta, il fianco di una montagna, le mura di un edifizio, le vele di una nave, le nubi ancora. Così si è talvolta osservato che l'eco prodotta da una casa campestre, è sparita dopo essere stati abbattuti gli alberi che la circondavano; le parole inviate col portavoce, tornano indietro qualora incontrano le vele di un naviglio, o degli alti marosi; negli sperimenti fatti per determinare la celerità del suono nell'aria, si è osservato che i colpi di cannone avevano un'eco, ogni volta che delle nubi passavano sulla testa dell'osservatore; ed in fine gli aeronauti sentono l'eco della loro voce ripercossa dalla superficie della terra. Il fragore prolungato del tuono è in parte dovuto a successive riflessioni tra il suolo e le nubi. Eco.

Un'eco riesce monosillaba o polisillaba, secondo la distanza del corpo che la invia. Si ritiene che in media si pronunziano cinque sillabe in un secondo, nel qual tempo il suono percorre 340 metri; quindi se di uguale lun-

ghezza è la distanza che ci separa dal corpo che produce un'eco, potremo sentir ripetere delle parole che sommino cinque sillabe.

Molti casi si sono osservati di eco multipla, ossia di un'eco che ripete molte volte lo stesso suono. È chiaro che ne debba esser cagione una ripetuta ripercussione dell'onda sonora.

Cagioni che fanno udire a maggior distanza i suoni notturni.

96. Il silenzio notturno unito ad una maggiore densità che l'aria suole avere durante la notte, influisce certamente a far che un suono si senta di notte a maggior distanza che di giorno. Ma in ciò non si racchiude tutta la cagione del fenomeno, imperocchè il barone Humboldt l'ha veduto riprodursi nelle foreste dell'Orenoco, dove il vento e gli animali non agitano l'aria se non durante la notte. Questo fatto accenna ad altra cagione, che facilmente si rinviene nella maggiore omogeneità dell'atmosfera notturna. Ed in vero se una ripercussione dell'onda sonora deve aver luogo ovunque esista un salto nella densità del mezzo conduttore del suono, questo dovrà soffrirne parecchie nell'attraversare le correnti ascendenti di aria calda promosse dall'azione dei raggi solari sulla superficie terrestre, e quelle discendenti di aria fredda che accorrono a riparare il vuoto prodotto dalle prime; ed in ogni parziale rimbalzo sta una perdita di forza per l'onda sonora, che purtuttavia non lascia di andare pel suo cammino. Simili parziali riflessioni non avvengono di notte, perchè nell'aria non si hanno correnti ascendenti e discendenti, e perciò il suono si trova udibile a maggiori distanze. E per vedere che la cosa vada realmente così, basterà considerare che da un lato la differenza tra i suoni notturni ed i diurni è riuscita più grande su i continenti che sul mare, più nelle valli che su gli altipiani; e che dall'altro si è trovata sotto l'azione dei raggi solari più calda la superficie dei continenti che quella del mare, più la superficie delle valli che quella degli altipiani.

Rifrazione.

97. Rappresenti AB (*fig. 90*) la superficie di separazione di due mezzi conduttori del suono, M ed N, e poniamo che il suono vada in N più lento che in M. Immaginiamo che il corpo sonoro sia abbastanza lontano da AB, perchè

i suoi raggi ms ed $m's'$ si possano riguardare come paralleli, e che in conseguenza si abbia a ritenere come piana la porzione sz della superficie dell'onda tra essi compresa. Poichè si è supposta la celerità del suono nel mezzo N minore che in M, il raggio ms penetrando in N dovrà fare, mentre l'altro raggio percorre zs', un cammino di questo minore, rimanendo però sempre perpendicolare alla superficie dell'onda già pervenuta in s'. Per soddisfare a queste due condizioni descrivasi un semicircolo to-

fig. 90.

gliendo a diametro la ss'; vi si adatti la corda st eguale al cammino che il raggio ms fa nel mezzo N, mentre in M l'onda procede da z in s'; e si congiunga t con s'. Sarà ts' la superficie dell'onda nel secondo mezzo, imperocchè la ts', com'è noto dalla Geometria, è perpendicolare ad st. Or menando pel punto s la Ce normale alla superficie AB, si vede che il raggio ms prendendo nel secondo mezzo la direzione st, forma colla normale Ce l'angolo tse minore dell'angolo Csm che colla medesima normale faceva nel 1° mezzo. L'angolo tse si denomina *angolo di rifrazione*, e Csm *angolo d'incidenza.*

Con una simile costruzione si troverebbe l'angolo di rifrazione maggiore dell'angolo d'incidenza, qualora si ponesse che il suono sia più celere in N che in M.

Da tutto ciò si rileva che i raggi sonori, passando da

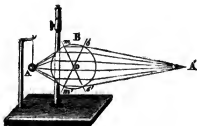
16

un mezzo in un altro obbliquamente alla superficie di separazione, deviano dal loro cammino quasi che si frangessero, e formano colla normale al punto d'incidenza un angolo maggiore o minore di quello formato nel primo mezzo, secondo che la celerità di trasmissione del suono nel mezzo in cui entrano, è maggiore o minore di quella che si aveva nel mezzo da cui escono.

Fino a questo punto abbiamo supposto che i raggi sonori incontrassero obbliquamente la superficie di separazione di due mezzi; poniamo ora che la incontrino ad angolo retto. In tal caso i raggi non resteranno spezzati passando da un mezzo nell'altro, imperocchè un'accelerazione od un ritardo li colpirà tutti in un medesimo istante, ed in conseguenza la superficie dell'onda nel secondo mezzo si moverà parallela alle posizioni successivamente occupate nel primo.

Tutte queste deduzioni sono state pienamente confermate da sperienze dirette; ma al nostro scopo giova vederne una prova indiretta. Prendasi un globo B (*fig. 91*) fatto di sottilissima membrana e pieno di gas acido carbonico, il quale è noto di condurre il suono meno celeramente che l'aria. Sospendasi in A a qualche decimetro di distanza dal globo, un oriuolo da tasca, e supponendo vere le dette leggi di rifrazione, facciamoci a considerare il cammino che dovranno seguire i raggi sonori Am ed Am' prodotti dalle pulsazioni del suo bilanciere. Condotte ai punti d'incidenza le normali Om, Om', i raggi penetrando nell'acido carbonico che li conduce meno celeramente dell'aria, dovranno avvicinarvisi vieppiù, prendendo delle vie come ms ed $m's'$; e quando saranno per emergere dall'acido carbonico si scosteran-

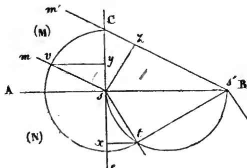
fig. 91.



no maggiormente dalle normali Os ed Os', ed usciranno convergenti ad un certo punto A', nel quale le pulsazioni del bilanciere si dovranno udire distantamente. Facendo questo sperimento, che per la prima volta fu fatto da Sondhauss, si trova che realmente esiste un punto A', in cui convergono i raggi sonori partiti da A, e che in conseguenza esiste una rifrazione del suono e si attua secondo le leggi di sopra dedotte dal solo concetto di onda sonora.

98. Ritorniamo alla *fig. 90*, e fatto centro il punto *s* descriviamo con un raggio eguale all'unità lineare un arco di cerchio fino ad incontrare i raggi incidente e rifratto; e dai loro punti d'incontro *v* e *t* conduciamo *vy* e *tx* perpendicolari a Ce. Le rette *vy* e *tx* si dicono *seni* degli angoli *msc* e *tse*. Indice di rifrazione.

fig. 90.



Premesso ciò, consideriamo i due triangoli *vsy* e *zss'*, i quali sono simili e perciò ci danno la proporzione:

$$vy : vs :: zs' : ss';$$

e dai due triangoli *tsx*, *tss'*, che sono ancora simili, avremo l'altra proporzione:

$$tx : st :: st : ss'.$$

Ma queste due proporzioni, avendo gli stessi conseguenti, i loro antecedenti dovranno essere in proporzione, e perciò sarà:

$$vy : tx :: zs' : st.$$

Or le rette zs' ed st rappresentano le velocità del suono nei due mezzi, velocità costanti, perchè il moto del suono è uniforme; sarà dunque costante il loro rapporto, e quindi lo sarà ancora quello di vy a tx, che rappresentano il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione. Dunque:

Nella rifrazione del suono esiste, per due mezzi dati, un rapporto costante tra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione.

Questo rapporto costante si denomina *indice di rifrazione*, e la sua esistenza è stata sperimentalmente confermata.

III.

Risonanza.

Definizione — Casse sonore — Sperimento di Wheatstone — Condizioni della risonanza — Fiamme sonore.

Definizione. 99. Le onde sonore, incontrando un ostacolo, ne vengono respinte e formano un'eco (nº 96). Ma se quell'ostacolo è un corpo elastico, il quale e per le sue dimensioni e pel grado di elasticità che possiede, sia tale che qualora vibrasse produrrebbe precisamente il suono dalle cui onde è colpito, allora quest'urto riuscirà sovente a porlo in vibrazione, e così al suono ripercosso si aggiungerà un egual suono diretto, che renderà l'eco più robusta.

La vibrazione eccitata in un corpo per mezzo delle onde sonore prodotte da un altro corpo, è quella che si denomina *risonanza*.

Così non di rado avviene che attraverso il muro, che separa la vostra stanza da quella di una casa contigua, voi udiate il suono di un piano forte, e talvolta le pa-

role di un discorso. In tal caso i suoni si trasmettono al vostro orecchio mercè le vibrazioni prodotte nelle molecole del muro dall' urto delle onde sonore, e che poi da quelle molecole vanno trasfuse nell'aria che vi circonda.

100. Le vibrazioni delle corde di un violino, di un'arpa, di un pianoforte, ecc. produrrebbero suoni assai deboli se la risonanza delle casse, di cui son provviste, non venisse a rinforzarli. Le corde attesa la loro sottigliezza, fendono agevolmente l'aria, e quindi non possono comunicare le loro vibrazioni che alle poche molecole cui vanno ad urtare, e dalle quali il moto irradiandosi nel resto della massa fluida, non può generarvi che una debolissima azione meccanica. Al contrario l' ampia superficie che la cassa sonora presenta all' aria ambiente, fa che molte molecole ne siano contemporaneamente colpite, e che il suono riesca abbastanza pieno a quella medesima distanza, in cui senza la cassa sarebbesi pressochè spento. Quindi si comprende perchè il pregio degli strumenti a corde sia riposto quasi che tutto nella buona costruzione delle loro casse, le quali e per materia e per dimensioni vogliono esser costrutte in modo da rispondere egualmente bene a tutti i suoni dell' istrumento. **Casse sonore.**

101. A meglio raffermare la spiegazione che abbiamo data degli effetti delle casse sonore, citiamo un bello sperimento di Wheatstone. Una lunga e sottile asta di abete passa attraverso i diversi suoli di una casa a varii piani, rimanendo chiusa in un tubo di latta reso interamente pieno mercè un' imbottitura di cauciù. Colla sua estremità inferiore a sufficienza assottigliata quell' asta poggia sulla cassa sonora di un pianoforte, che poniamo trovarsi al 1° piano, e coll' estremità superiore si eleva poi a maneggevole altezza sul pavimento di un qualunque piano superiore. Che sul pianoforte eseguasi un motivo musicale, nulla o ben poco se ne udirà nella stanza in cui quell' asta finisce; ma se vi poggiamo su una larga lamina di legno, o meglio la cassa sonora di un violino o di una chitarra, tosto udiremo i suoni del pianoforte così distinti, come se uscissero da quella lamina o da quella cassa sonora. Così un intero concerto **Sperimento di Wheatstone.**

musicale può menarsi da un luogo ad un altro, senza che sia avvertito nei luoghi intermedii.

Condizioni della risonanza.

fig. 92.



102. Perchè la risonanza avvenga, è necessario che il corpo il quale deve risonare, sia tale che se fosse con acconcia azione meccanica scosso a moto di vibrazione, esso concepirebbe giusto quel moto a cui corrisponde il suono eccitante. Alla bocca di una provetta A (*fig.* 92) di vetro si avvicini un diapason vibrante, e poniamo che le dimensioni della provetta e del diapason sieno tali che il suono non ne venga affatto rinforzato. Allora si versi dolcemente dell'acqua nella provetta, e tosto si udirà un suono che andrà crescendo di forza a misura che il livello dell'acqua verrà elevandosi. Ciò per altro non avrà luogo che fino ad un certo punto, oltre il quale l'accrescimento dell'acqua nella provetta anzi che rendere più spiccato il suono, lo farà sempre più scemare di forza fino a renderlo inudibile come prima.

In questo sperimento l'aria contenuta nella provetta è appunto il corpo che colle sue vibrazioni rinforza quelle del diapason; ed il fatto che evvi un'altezza di livello, che dà massima energia al suono, dimostra che non per tutte le lunghezze quella colonna di aria è egevolmente scossa dalle onde sonore, da cui è colpita.

La direzione ancora, in cui le onde sonore colpiscono il corpo che dev'esserne scosso, influisce non poco sulla produzione della risonanza. Se due pianoforti accordati all'unisono vengono situati in modo che le corde dell'uno riescano parallele a quelle dell'altro, allora facendo vibrare una corda di un pianoforte, si vedrà vibrare la

consimile corda dell'altro. Ma se le corde dei due pianoforti fossero a vicenda perpendicolari, la risonanza non avrebbe luogo.

Un simile effetto si otterrà ancora con due diapason che diano uno stesso suono, e le cui casse sonore, aperte in due facce omologhe verticali, sieno situate alle estremità di una sala tenendo l'apertura dell'una rivolta verso quella dell'altra. Allora si faccia vibrare uno dei diapason fregandolo per alquanti secondi con un arco di violino, e quando ponendovi su una mano avremo spente le sue vibrazioni, udiremo un egual suono venirci dall' altro diapason.

Questa seconda condizione della risonanza è messa in chiaro da un esperimento di Savart. Si tenda verticalmente una corda di violino, che tenga orizzontalmente sospeso, perchè fattovi entrare a strofinio, un disco di ottone temperato o di altro corpo elastico: strofinando la corda ora trasversalmente con un arco di violino, ed ora longitudinalmente colle dita impolverate di pece, si vedranno i granelli di sabbia, sparsi sulla lamina, correre tangenzialmente nel primo caso e saltare normalmente nel secondo.

fig. 93.



Quando le condizioni della risonanza si trovano interamente soddisfatte, essa non di rado assume una forza sorprendente. Un primo esempio ce ne offre il *campanello di Savart*. È questo un largo campanello, situato come si vede nella (*fig. 93*); e gli sta a fianco un tubo di lunghezza variabile a modo di quello di un cannocchiale, e che può essergli più o meno avvicinato. Messo in vibrazione il campanello strofinandolo con un arco di violino, si troverà facilmente la giacitura e lunghezza da darsi al tubo, perchè l'aria che

vi è contenuta, si trovi acconcia a vibrare sincronamente al campanello; ed allora il suono uscirà fuori con un vigore inaspettato.

Un secondo esempio ne offre l'esperimento con cui si manda in pezzi un bicchiere per solo impeto della voce. La cosa è narrata da parecchi autori, ma un fisico tedesco racconta che nella sua giovinezza ne vide egli stesso la prova in una taverna. Un uomo ponevasi d'innanzi una serie di bicchieri, dolcemente li colpiva l'un dopo l'altro con una piccola chiave per conoscerne il suono; e quando aveva così trovato quello che andava cercando, ci si curvava sopra, gli avvicinava la bocca, vi cacciava dentro un forte colpo di voce, ed il bicchiere andava in pezzi. E l'uomo era così certo del risultato, che ne faceva un mestiere.

Fiamme sonore.

103. Nel n° 90° abbiamo accennata *l'armonia chimica*, ossia quel suono che si produce da una fiammella d'idrogeno, qualora si faccia entrare in un tubo aperto nelle due estremità. Ma se debole è il suono, che si ottiene dalla piccola corrente d'idrogeno svolto da una reazione chimica, potremo in vece ottenere un suono robusto facendo uso di un tubo lungo e largo e di un getto di gas illuminante. Sì nell'uno però che nell'altro caso il getto gassoso è vibrante ed in conseguenza intermittente; la qual cosa è messa in chiaro da un semplice sperimento. Si faccia entrar di tanto la fiamma del tubo, da farla rimanere silenziosa, e le si ponga dirimpetto uno specchio piano in modo che l'osservatore possa vederne l'immagine; si dia allora una rapida rotazione allo specchio, ed in luogo della fiamma si vedrà una zona luminosa, non altrimente che avviene in quel giochetto in cui il fanciullo menando rapidamente in giro un tizzoncello acceso si procura la vista di un cerchio di fuoco. Dopo ciò si aggiusti la fiamma nel tubo in modo da farla cantare, e si ripeta la prova dello specchio girante; non si vedrà più una zona luminosa, ma una corona di fiamme (*fig. 94*) separate da

fig. 94.



spazii oscuri tanto più grandi, per quanto più celere sarà la rotazione dello specchio. Or la corona di fiamme, apparsa in vece della zona luminosa, ci dimostra che nel getto del gas avvenivano rapide intermittenze prodotte da altrettante vibrazioni.

Premesse le quali cose, poniamo che siasi determinato il sito che la fiamma deve occupare nel tubo, perchè il suono si produca. Allontanandola per poco da quel luogo, la vedremo ritornar silenziosa, qual'era prima che fosse chiusa nel tubo; ma se allora riprodurremo colla voce il suono che essa ci dava, la sentiremo ben tosto ricominciare la sua canzone. Essa era pronta a voler vibrare, e le onde sonore della nostra voce l'hanno spinta al movimento.

IV.

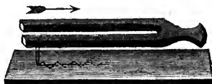
Suoni musicali.

Fonografia — Numerazione delle vibrazioni — Lunghezza dell'onda sonora — Scala musicale — Leggi delle vibrazioni delle corde — Vibrazioni longitudinali e trasversali — Suoni armonici — Nodi e ventri di vibrazione — Metallo del suono.

104. Tra i metodi sperimentali più ingegnosi, ideati dai fisici moderni, vuol essere sicuramente annoverata la *fonografia*, ossia la grafica rappresentazione dei suoni. Fonografia.

Sopra una lastra di vetro (*fig. 95*) annerita da una fiam-

fig. 95.

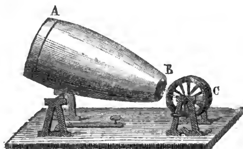


ma, si faccia scorrere nel verso indicato dalla freccia, un diapason vibrante che tocchi la lamina con una punta tolta da foglia metallica o da cannuolo di penna, e si ve-

drà la punta segnare sulla lamina annerita una linea sinuosa, che ci farà vedere il moto di vibrazione del diapason, l'isocronismo delle sue oscillazioni, la loro decrescente ampiezza, il numero che se n'è fatto in un dato tempo, ecc.

E sullo stesso principio è fondata la costruzione del *fonautografo*, strumento così denominato, perchè con esso il suono si disegna da sè medesimo. Si compone di una paraboloide (1) AB (*fig. 96*) fatta di foglia metallica, e

fig. 96.



chiusa in B da una membrana, in cui rattrovasi il fuoco della paraboloide. La membrana è tesa, e porta una piccola penna che colla sua punta tocca la superficie del cilindro C coperta di carta annerita. L'asse del cilindro porta alcuni passi di vite, affinchè nella sua rotazione si movesse parallelamente al suo asse; e perciò facendolo girare quando la membrana, che chiude il foro B, non è scossa da verun suono, la punta segnerà le spire di un'elica sulla superficie del cilindro. Ma se un suono interviene, la punta della penna disegnerà sulla carta coperta di nerofumo le vibrazioni da cui la membrana sarà colpita.

(1) Superficie generata dalla rotazione di una parabola intorno al suo asse, e che ha la proprietà di riunire in un punto nominato *fuoco*, tutti i raggi sonori, luminosi, ecc. che ne incontrano la faccia interna in direzioni parallele all'asse.

Con questo strumento si possono chiarire parecchie quistioni acustiche, tra cui scegliamo le più importanti.

1. *Suoni gravi ed acuti* — L'orecchio ci fa distinguere i suoni gravi dagli acuti, ma nulla ci dice della cagione che produce la loro differenza. Però se faremo agire sul fonautografo successivamente un suono grave ed un acuto, troveremo che sopra eguali intervalli sulla superficie del cilindro, il suono grave avrà segnato minor numero di sinuosità dell'acuto. E poichè ad ogni sinuosità, come *abce* (*fig. 97*), corrisponde una vibrazione del corpo sonoro, così diremo riuscir grave il suono che risulta da minor numero di vibrazioni. Il *grado* dunque del suono, ossia ciò che lo rende grave od acuto rispetto ad un altro suono, sta riposto interamente nella comparazione dei numeri di vibrazioni fatte in tempi eguali.

fig. 97.



2. *Suoni forti e deboli* — Un suono, grave od acuto che sia, può essere più o meno forte di un altro suono di egual grado. La cagione che fa riuscire un suono più forte di un'altro era stata già divinata dai fisici, quando il fonautografo è venuto a rifermarla, mostrando che le sinuosità prodotte da un suono forte, sono più ampie di quelle cagionate da un suono debole. Così la linea punteggiata della *fig. 97* rappresenta un suono più forte di quello che ha dato origine alla linea sinuosa continua della stessa figura. Laonde la diversa energia di un suono dipende dalla maggiore o minore ampiezza delle oscillazioni molecolari che lo trasmettono al nostro orecchio.

3. *Suoni e rumori* — Niuno confonderà giammai un suono con un rumore; ma se la cagione produttrice della loro differenza era stata già intraveduta, non si è potuto però rifermare con esperimenti se non per mezzo del fonautografo. La linea sinuosa che ogni suono propriamente detto fa scrivere a questo strumento, mostra sempre cogli eguali intervalli delle sue spire e colla continua diminuzione delle loro ampiezze, che le vibrazioni del corpo sonoro sono state tutte di eguali durate e che

le escursioni delle sue molecole sono divenute continuamente minori, a misura che il loro sistema è andato avvicinandosi al riposo. Al contrario nella traduzione grafica di qualsiasi rumore si osserverà sempre una discontinuità sia nella durata delle oscillazioni, sia nella loro ampiezza. Dimodochè il fonautografo ci fa certi che i suoni propriamente detti risultano da isocrone oscillazioni, le quali ove mai avessero a cangiare di ritmo o di ampiezza, lo farebbero sempre in modo continuo; ma che in ogni rumore vi è discontinuità in una almeno delle due cose che producono il grado e la forza di un suono.

Numerazione delle vibrazioni. 105. Numerando le sinuosità che la penna del fonautografo scrive in un dato tempo sulla carta annerita del cilindro, si verrebbe a conoscere la quantità di vibrazioni che il corpo sonoro ha fatte nello stesso tempo. Ma per tale obbietto sarà meglio servirsi di altro apparecchio. La (*fig. 98*) rappresenta un disco metallico, sul quale concentricamente alla circonferenza sta scolpita una serie di fori equidistanti. Un tubo ricurvo parallelo al disco, e che tiene la sua apertura sulla linea dei fori, riceve da un mantice una corrente di aria, la quale nella rotazione del disco trova libero efflusso ogni volta che incontra uno dei fori, ed urta contro il disco nei loro intervalli. Facendo rotare lentamente il disco, si udirà un soffio ogni volta che la corrente di aria incontrerà uno dei fori, ma se poi la velocità di giro si faccia continuamente crescere, i ripetuti soffi si cangeranno in un suono continuo, sul principio grave, e che poi si farà a mano a mano più acuto, a misura che la celerità di rotazione andrà crescendo. Il suono così prodotto va dovuto alla rapida serie di condensamenti e rarefazioni che la corrente di aria patisce negli alternati incontri della parte piena del disco e dei fori; e poichè le alternative e quindi le vibrazioni si succedono più rapidamente col crescere della velocità di rotazione, così si comprende perchè il suono riesca sempre più acuto. E qui giova osservare che i ripetuti soffi allora si mutano in suono, vale a dire in

fig. 98.



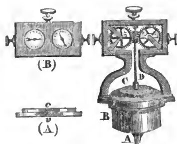
una cosa continua, quando la velocità del giro è pervenuta ad un certo grado; non altrimenti che avviene con un tizzo acceso, il quale non ci presenta l'immagine di un nastro, se non quando è menato in giro con sufficiente celerità. La quale analogia tra i fenomeni del suono e quelli della luce non vorrà esser dimenticata, quando della natura dell'ultima avremo a trattare.

Ritornando ora all' esperimento del disco girante, facciamo osservare come sia facile numerare la quantità di vibrazioni fatte da un corpo sonoro in un dato tempo; imperocchè basterà spingere la rotazione del disco finchè non renda un suono eguale al dato, ed allora numerare quanti giri il disco farà in un dato tempo; il prodotto del numero dei giri per la quantità dei fori esprimerà il numero delle vibrazioni.

Se la corrente di aria in vece di venire per un tubo solo fluisse per più tubi ordinati in modo che tutti nel tempo stesso facessero passar l'aria per altrettanti fori, il numero delle vibrazioni resterebbe lo stesso, ma la forza del suono ne sarebbe accresciuta.

Volendo usare di questo apparecchio per numerare le vibrazioni produttrici di un dato suono, è d'uopo avere una corrente di aria, un meccanismo per dar moto di rotazione al disco, ed un contatore del numero dei giri. La *sirena*, strumento inventato da Cagnard-Latour, sa fare da sè le ultime due cose, e non ha bisogno che di un mantice per soffiarvi l' aria.* Lo strumento è rappresentato dalla *fig. 99*: A è un tubo che mena l'aria nella cassa B, il cui fondo superiore porta in giro una serie di fori equidistanti. Parallelamente e quasi a contatto di quel fondo giace il disco C, in cui evvi egual numero di fori ed egualmente

fig. 99.



lontani tra loro; ma tanto i fori della cassa B che quelli del disco C non sono normali alla superficie in cui stanno scolpiti, ma vi si trovano inclinati come v ed o nella *fig.* (A). E perciò essendo il disco C fermato all'asse D girevole sopra sè stesso, l'aria che esce dalla cassa pel foro v, urta contro il foro o del disco, e vi produce una forza tangenziale che l'obbliga a girare; e la rotazione col produrre alternate interruzioni nella corrente di aria che esce dalla cassa, la pone in moto di vibrazione. L'asse D porta superiormente una vite perpetua che si addentella colla ruota r, la quale procede di un dente per ogni giro del disco, vale a dire per ogni numero di vibrazioni eguale a quello dei fori della cassa, stante che i fori del disco C non fanno che accrescere la forza del suono. La ruota r ha 100 denti ed un'appendice che in ogni giro fa muovere un dente della ruota z; in conseguenza gl'indici (*fig.* B) fermati alle due ruote, servono l'uno a numerare i giri l'altro le centinaja di giri.

La sirena, così denominata perchè si può far cantare mercè una corrente di acqua, dà un suono più o meno grave, secondo la celerità con cui il fluido entra nella cassa B; in conseguenza facendo variare la celerità della corrente, si può sempre ottenere un suono eguale a quello, di cui vogliamo valutare il numero delle vibrazioni per ogni secondo. Così si è trovato che nell'ordinaria conversazione la voce dell'uomo dà suoni le cui vibrazioni variano da 90 a 140 per secondo, mentre quelli della voce della donna in egual tempo si estendono da 280 a 460 vibrazioni.

Lunghezza dell'onda sonora. 106. Sappiamo (n° 91) che il suono si trasmette mercè alternate compressioni e dilatazioni nelle falde del mezzo conduttore, e che l'unione di una falda condensata colla rarefatta che la precede o la segue immediatamente, costituisce un'onda sonora. Or la teoria ha dimostrato e l'esperienza ha confermato che la celerità del suono è indipendente dal suo grado, e quindi dal numero delle vibrazioni fatte dal corpo sonoro in un dato tempo; in conseguenza se un suono risulta da 100, 1000, ec. vibrazioni per ogni minuto secondo, altrettante onde sonore si troveranno sul cammino che il suono fa in egual tem-

po. Ammettendo che questo cammino sia di 340 metri, le lunghezze delle onde corrispondenti a 100, 1000, ecc. vibrazioni per secondo, saranno di metri $\frac{340}{100}$, $\frac{340}{1000}$, ecc.

Uno dei suoni più bassi che l'orecchio umano possa avvertire, è quello che risulta da 32 vibrazioni per secondo, come uno dei più acuti è quello che fa 40000 vibrazioni in egual tempo; l'onda del primo è lunga metri 10,625, quella del secondo è di metri 0,0085.

Abbiamo accennato ai suoni più gravi o più acuti che possano essere udibili, essendochè non tutti lo sono, alcuni perchè troppo gravi, altri perchè troppo acuti. Nè i limiti di udibilità hanno nulla di assoluto, imperocchè l'esperienza ha fatto vedere che tal suono, sentito da un individuo, non lo era poi da un altro.

107. Sono noti i suoni della scala musicale: **Scala musicale.**

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*.

Dal 1° *do* all'ultimo essi vanno crescendo di grado, ma il grado del 1° *do* che costituisce il *suono fondamentale*, può essere qualunque. Perciò se ci facessimo a determinare per mezzo della sirena i numeri di vibrazioni dei diversi suoni componenti la scala musicale, troveremmo numeri differenti secondo il vario grado del suono fondamentale. Ma qualunque sia il grado di questo suono, la sirena ci farebbe conoscere che i rapporti dei numeri di vibrazioni dei suoni componenti la scala, rimangono indipendenti dal grado del primo. Dimodochè ponendo eguale a 1 il numero di vibrazioni del suono fondamentale, quelli degli altri suoni della scala saranno rappresentati dalla serie:

do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do

1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2.

Vale a dire che mentre il suono fondamentale fa 8 vibrazioni, *re* ne fa 9, *mi* ne fa 10, ed in fine il secondo *do*, ossia l'*ottava* del primo *do*, ne fa 16. In conseguenza un suono sale alla sua ottava raddoppiando il numero delle sue vibrazioni: così *sol*, ch'è espresso da $\frac{3}{2}$, ha la sua ottava rappresentata da 3, la doppia ottava da 6, ecc.

Se in vece di comparare tutti i suoni della scala al 1°, ne prendiamo i rapporti comparando ognuno di essi a quello che immediatamente lo precede, avremo la serie:

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*

$\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$.

I termini di questa serie costituiscono i *toni* od *intervalli dei suoni*. Ve ne sono tre rappresentati dal fratto $\frac{9}{8}$, due da $\frac{10}{9}$. Il fratto $\frac{9}{8}$ supera l'unità di $\frac{1}{8}$, e l'altro la supera di $\frac{1}{9}$; e poichè $\frac{1}{8}$ è maggiore di $\frac{1}{9}$, perciò gl'intervalli rappresentati da $\frac{9}{8}$ si son detti *toni maggiori*, e *toni minori* quelli espressi da $\frac{10}{9}$. Gl'intervalli poi rappresentati dal fratto $\frac{16}{15}$, il quale supera l'unità di $\frac{1}{15}$, che è quasi la metà di $\frac{1}{8}$, si dicono *semitoni maggiori*.

Or se compariamo un semitono maggiore ad un tono minore, e dividiamo in conseguenza il fratto $\frac{16}{15}$ per $\frac{10}{9}$, avremo il quoziente frazionario $\frac{24}{25}$. Volendo fare altrettanto rispetto ad un tono maggiore, dovremo dividere $\frac{16}{15}$ per $\frac{9}{8}$; ne avremo il quoziente $\frac{128}{135}$, il quale mercè la moltiplicazione dei suoi termini per 15 si riduce facilmente alla forma $\frac{24}{25} \times \frac{80}{81}$. Trascurando il fattore $\frac{80}{81}$ come prossimamente eguale all'unità, avremo che anche il rapporto di un semitono maggiore all'omonimo tono può ritenersi espresso dal fratto $\frac{24}{25}$. Laonde diremo in generale che un tono, sia maggiore o minore, si accresce di un semitono, quando il numero delle sue vibrazioni si fa più grande nella ragione di 24 a 25. Nella scrittura musicale si appone il segno ♯, che si denomina *diesis*, alla nota che si vuol accrescere di un semitono, ed il segno ♭, che si denomina *bemolle*, quando la si vuol diminuire di un semitono.

Il rapporto poi di un tono minore ad un tono maggiore essendo dato dal quoziente di $\frac{10}{9}$ diviso per $\frac{9}{8}$, ossia da $\frac{80}{81}$ che abbiamo ritenuto come eguale a 1, ne segue che potremo riguardare la scala come composta di cinque toni eguali e due semitoni, e darle in conseguenza l'espressione numerica:

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*

1, 1, $\frac{1}{2}$, 1, 1, 1, $\frac{1}{2}$.

Se invece di cominciare la scala da *do*, la cominciassimo da *la*, avremmo la serie di toni:

la si do re mi fa sol la,
1 $\frac{1}{2}$ 1 1 $\frac{1}{2}$ 1 1

la quale anche piace all'orecchio. Evvi però una differenza tra le due scale, nella 1ª, cioè in quella di *do*, il rapporto della *terza mi* al suono fondamentale è dato dal numero $\frac{5}{4}$ che supera l'unità di $\frac{1}{4}$, e nella 2ª il rapporto della terza *do* al suono fondamentale *la* è dato da $\frac{6}{5}$ che supera l'unità di $\frac{1}{5}$; e poichè $\frac{1}{4}$ è maggiore di $\frac{1}{5}$, il 1º modo di scala si è detto *in 3ª maggiore*, il 2º *in 3ª minore*.

E se volessimo una scala di *la*, simile a quella di *do*, e quindi in 3ª maggiore, dovremmo accrescere di mezzo tono le note di *do*, *fa* e *sol*; e la scala richiesta sarebbe:

la, *si*, *do*♯, *re*, *mi*, *fa*♯, *sol*♯, *la*
1, 1, $\frac{1}{2}$, 1, 1, 1, $\frac{1}{2}$.

Abbiamo fatto queste piccole applicazioni all'arte musicale, per mostrare come i precetti di quest'arte sieno necessaria conseguenza dei rapporti che esistono tra i numeri di vibrazioni dei suoni di cui essa fa uso.

108. Le leggi delle vibrazioni delle corde sono state trovate dai matematici, indi applicate ai suoni musicali per determinare i rapporti dei loro numeri di vibrazioni. Ora che questi rapporti ci sono noti per mezzo della sirena, possiamo sperimentalmente determinare le suddette leggi. Leggi delle vibrazioni delle corde.

A tal uopo abbiamo bisogno di uno strumento, il *so-*

fig. 100.



nometro, che si compone (*fig. 100*) di una cassa sonora, sulla cui faccia superiore e parallelamente alla sua lun-

ghezza sta segnata una retta divisa in millimetri. Una corda sonora è attaccata con un capo ad un'estremità della cassa, e nell'altro, dopo essersi appoggiata alla gola di una carrucola, è tirata da un peso, per cui riceve conveniente tensione. In fine un ponticello, alquanto più basso dei due che verso le estremità della cassa tengono sollevata la corda, è scorrevole lunga la linea graduata, e lo sperimentatore premendovi la corda con un dito, ne fa variare la lunghezza come vuole. Veniamo ora agli sperimenti,

— 1° Facendo vibrare la corda in tutta la sua lunghezza, strofinandola con un arco di violino, si prenda quel suono come *do* della scala naturale; indi si faccia scorrere il ponticello mobile finchè non si abbiano successivamente *re*, *mi*, ... *do*, e per ognuno di questi suoni si tenga nota della corrispondente lunghezza di corda, definita dal luogo occupato dal ponticello mobile sulla linea graduata. Prendendo ad unità la lunghezza di tutta la corda, si troverà che le lunghezze corrispondenti ai varii suoni della scala saranno rappresentate dai seguenti fratti:

do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*

$1\,,\ \frac{8}{9}\,,\ \frac{4}{5}\,,\ \frac{3}{4}\,,\ \frac{2}{3}\,,\ \frac{3}{5}\,,\ \frac{8}{15}\,,\ \frac{1}{2}.$

Or questi numeri sono precisamente gl' inversi di quelli che rappresentano le rispettive quantità di vibrazioni fatte in tempi eguali dagli stessi suoni. Dunque:

I numeri di vibrazioni fatte in tempi eguali da una corda di lunghezza variabile, sono inversamente proporzionali alla lunghezza della corda.

Quindi si comprende perchè negli strumenti a corde sono più corte (come nel pianoforte e nell'arpa), o si rendono momentaneamente più corte (come nel violino e nella chitarra) le corde che debbono dare suoni più acuti.

— 2° Abbiamo detto che la corda è tirata da un peso. Or se dopo averne ottenuto un suono mentre è tirata da un certo peso, la si faccia vibrare quando il peso sia divenuto 4 volte maggiore, si troverà che il secondo suono è l' ottava del primo, vale a dire che si ha un numero di vibrazioni doppio, quando la tensione è divenuta quattro volte più grande. In conseguenza:

I numeri di vibrazioni di una corda crescono come la radice quadrata della sua tensione.

— 3° Si adattino al sonometro due corde di una stessa natura, ma che il diametro dell' una sia doppio di quello dell' altra. Fatte eguali le loro lunghezze e tensioni, si facciano vibrare; e si troverà il suono della corda di diametro doppio essere l' ottava bassa di quello dato dall'altra. Dunque :

I numeri di vibrazioni delle corde, *che differiscono soltanto in doppiezza, sono inversamente proporzionali ai loro diametri.*

— 4° In fine:

I numeri di vibrazioni delle corde che differiscono per sola densità, sono inversamente proporzionali alle radici quadrate delle densità.

Per dimostrare l' esattezza di questa legge si adattino successivamente al sonometro tre fili eguali in diametro e lunghezza, l' uno di magnesio, l' altro di argento, ed il terzo di platino; metalli di assai diversa densità. Dando a ciascuno di essi una medesima carica, si pongano in vibrazione; e mercè i suoni ottenuti conosceremo che i loro numeri di vibrazioni sono riusciti inversamente proporzionali alle radici quadrate delle loro densità.

109. Le leggi di vibrazione delle corde sonore, esposte nel n° precedente, sono relative a quei moti molecolari prodotti nelle corde da cagioni meccaniche, che agiscono normalmente alla loro lunghezza, come avviene quando una corda si strappa o pizzica colle dita, o si strofina per traverso con un arco di violino. Ma si possono ancora cavar suoni da una corda strofinandola pel verso della sua lunghezza; e con quest' azione meccanica le molecole della corda sono spinte a condensarsi or verso uno dei suoi capi, or verso l'altro. I suoni così prodotti sono sempre acutissimi, il che dimostra la grande celerità delle vibrazioni da cui risultano. **Vibrazioni longitudinali e trasversali.**

Dalle quali considerazioni poi si rileva, perchè alle vibrazioni della 1ª specie siasi dato l'aggiunto di *trasversali* e quello di *longitudinali* alle seconde.

110. Percuotendo ad un tempo quei tasti di un pianoforte, che danno 1ª, 3ª ed 8ª di suono, od anche 1ª, 3ª, **Suoni armonici.**

5ª ed 8ª, se si ha un suono composto, piacevole all'orecchio e che dicesi *armonia* o *consonanza*; ogni altra combinazione di suoni musicali simultanei è una *dissonanza*, e ci fa dispiacevole impressione.

Premesso ciò, osserviamo che la teoria matematica delle corde vibranti ha fatto conoscere che insieme all'intera lunghezza di una corda possono vibrare le sue diverse parti aliquote, vale a dire le due metà, le parti terze, quarte, quinte, ecc. e che in conseguenza al suono dato dall'intera corda, possono andar unite (nº 109—1º) la sua ottava, l'ottava della sua quinta, la sua doppia ottava, la doppia ottava della sua terza, ecc. La quale coesistenza di suoni oggi non è più una semplice possibilità, ma un fatto assicurato; imperocchè l'osservazione primieramente ha fatto conoscere che in un suono grave e sostenuto un orecchio educato alle valutazioni musicali può avvertire l'esistenza dei primi quattro dei summentovati suoni, i quali perchè fanno armonia col suono fondamentale, han fatto dare il nome di *armonici* a tutta la loro famiglia. La possibilità pertanto di ripetere questa osservazione non avrebbe potuta essere che privilegio di pochi, se Helmholtz, a cui la scienza dei suoni deve parecchi stupendi ritrovati, non avesse ideato i *risonatori*, che danno a chiunque il mezzo di poter fare l'analisi di qualsiasi suono, e spingerla ad un limite che la pura osservazione non avrebbe potuto giammai raggiungere.

fig. 101.



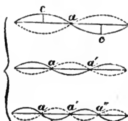
I *risonatori* (*fig. 101*) sono dei globi vuoti di cristallo, od anche di lamina metallica, i quali da un lato finiscono in un collo cilindrico destinato a ricevere il suono, e si allungano dalla parte opposta a guisa d'imbuto, che va poi introdotto nell'orecchio.

Mercè le leggi della risonanza, esposte nel capo precedente, si comprende che il risonatore dà forza soltanto al suono, che si trova conforme a quello che può esser prodotto dall'aria interna, quando è messa in vibrazione; tutti gli altri al contrario ne rimangono indeboliti,

Il suono proprio del risonatore varia secondo il suo diametro, quando la sostanza, di cui è fatto, rimane la stessa; e perciò giova averne parecchi di diverso diametro.

I risonatori hanno messo in chiaro, ciò che la teoria aveva già preveduto, che non tutti i suoni compagni di un suono dato possono far armonia con esso; e perciò il nome di *armonici*, sotto cui son conosciuti, non è esatto. Helmholtz li chiama *obertones* (toni superiori), alla quale voce alemanna potrebbe nella nostra favella corrispondere quella d'*ipertoni*, se si volesse adottare questa parola metà greca e metà italiana.

fig. 102



Gli armonici o ipertoni si possono produrre, ancorchè si faccia tacere il suono principale. Colle corde la cosa riesce assai facile. Si tocchi leggermente con un dito, o meglio colle barbe di una penna, il punto medio della corda di un sonometro, e si dia coll'arco sopra una delle metà, ne uscirà l'ottava del suono che la corda avrebbe dato vibrando nell'intera sua lunghezza. Similmente si avrà l'ottava della sua quinta, o la doppia ottava della prima, toccando la corda nel 3° o nel 4° della sua lunghezza. Dimodochè le vibrazioni della corda assumeranno le forme rappresentate nella *fig. 102.*

Indicando *a* i punti leggermente toccati, mentre l'arco agisce sulla metà, il terzo od il quarto della corda, il punto *a'* nella 2ª linea della figura, ed i punti *a'* ed *a''* nella 3ª linea resteranno immobili egualmente che i punti estremi della corda. Questi punti restati immobili sono i *nodi* della vibrazione, e quelli poi, come i punti c nella 1ª linea della figura, nei quali vi è massima escursione, ne sono i *ventri.*

Che ventri e nodi realmente si producano in una corda le cui parti aliquote vibrano all'unisono, lo si prova con un facile sperimento. Supponiamo che debbano vibrare le parti 4ª della corda: si porranno pezzettini di carta

piegati in due su i punti che dovranno esser nodi, ed altri di diverso colore su i punti medii ai primi; allora ripetendo l'esperimento qui sopra descritto, si vedranno saltare in aria i secondi pezzetti di carta, e rimanere in sito i primi.

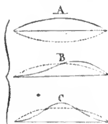
Ventri e nodi di vibrazione si hanno non solamente nelle corde, ma in ogni corpo che vibra. Così la polvere (n. 90) che si riunisce in alcune linee sulla superficie di una lamina vibrante, segna i punti della superficie che restano in quiete mentre gli altri si muovono; e perciò quelle linee si distinguono coll' aggiunto di *nodali*. Così ancora nell' esperimento della canna sonora citato nello stesso n°, se il telarino impolverato si farà scendere alla profondità di una superficie nodale di quella colonna di aria, si vedrà la polvere rimanere immobile quando la canna comincerà a suonare.

Metallo del suono. 111. I suoni possono essere gravi ed acuti, deboli o forti. Sappiamo (n° 104 — 1°) che la cagione della prima differenza sta nei numeri di vibrazioni fatte in tempi eguali, gli acuti facendone un numero maggiore, ed i gravi un numero minore. E quanto all'esser un suono più o meno forte, ci è noto (n° 104 — 2°) che ciò dipende dall'essere più o meno ampie le oscillazioni del corpo sonoro, e quindi più o meno vigoroso l'impeto dell'onda sull'organo uditivo. Ma due suoni potranno avere lo stesso grado la stessa forza, senza che perciò sieno uno stesso suono, come sarebbe il caso di una voce che cantasse all' unisono di un violino. La qualità, per la quale riescono tra loro differenti più suoni di egual grado e forza, è quella che diciamo *metallo del suono*, e che gli alemanni chiamano *klangfarbe* (colore del suono).

Se il metallo del suono non dipende dall'impeto dell'onda sonora, nè dal numero che l'orecchio ne riceve in un dato tempo, non possiamo immaginare altra ragione del suo essere che una varia maniera d'impulso, prodotta da una varia modificazione nella forma dell'onda sonora. Poniamo, a modo di esempio, che una corda non dia altro suono, che quello corrispondente all' intera sua lunghezza, allora la forma che la corda prenderà nel massimo spostamento dal luogo di equilibrio, sarà rappresentata

dalla curva A (*fig. 103*). Ma se insieme al suono fondamentale si producesse la sua ottava, o l'ottava della sua quinta, la curva di massimo spostamento sarebbe rappresentata da B nel 1° caso e da C nel secondo; ed è chiaro che nelle tre ipotesi da noi fatte, senza che il grado e la forza del suono ne venissero alterati, l'impeto della corda sull'aria, e di questa sull'udito dovrebbe riuscir diverso. Laonde se in simili modificazioni sta la cagione del metallo, i suoni che solo per questo differiranno, dovranno essere accompagnati da diversi sistemi d'ipertoni. Ed Helmholtz, analizzandoli mercè i suoi risonatori, ha trovato che la cosa va realmente così.

fig. 103.



Ed in diversità d'ipertoni lo stesso Helmholtz ha trovato ancora che risiede la cagione, che fa distinguere i suoni delle diverse vocali. Nè di ciò si è contentato, ma con un apparecchio di sua invenzione, nel quale più diapason possono contemporaneamente riprodurre gli armonici caratteristici di una data vocale, egli ha trovato il modo di comporla artificialmente. E così l'illustre alemanno, scoprendo il mezzo di far l'analisi e la sintesi delle diverse vocali, ha risoluta una gravissima quistione di Acustica, **la cui soluzione non era stata ancora da veruno tentata.**

V.

Interferenze.

Definizione — Esempii d'interferenza — Battimenti.

112. Supponiamo che in un dato punto di un mezzo conduttore del suono s'incontrino due semionde di egual forza, l'una condensata e l'altra rarefatta, è chiaro che in quel punto la condensazione sarà compensata dalla ra- **Definizione.**

refazione, ed ivi il suono cesserà di esistere; se poi in quel punto s'incontrassero due semionde condensate o due semionde rarefatte, la condensazione nel 1° caso e la rarefazione nel secondo diverrebbero somma delle due, ed il suono ne sarebbe rinforzato. Questo accrescimento o annullamento di suono, che può nascere dall'incontro di due onde sonore, si denomina *interferenza*.

Esempii d'interferenza. 113. Si prenda una lamina circolare di ottone, sostenuta orizzontalmente pel suo centro (*fig. 104*); e se ne strofini l'orlo con un arco di violino in modo, che le linee nodali segnate dalla sabbia che vi sarà stata sparsa, si trovino diametralmente ordinate. Così la lamina nella sua vibrazione si troverà divisa in settori, il cui numero riuscirà sempre pari, senza di che uno qualunque dei settori non potrebbe discendere, mentre ascendono i due tra i quali si trova, e viceversa. Or tenendo quasi a contatto di due settori contigui le due branche A e B, in cui finisce il tubo C superiormente chiuso da una membrana impolverata di finissima sabbia, si vedrà questa rimanersi immobile ed il suono della lamina restarne alquanto scemato; ma se poi le gambe del risonatore si tengano su due settori separati da un terzo, il suono della lamina ne verrà gagliardamente rinforzato e la sabbia si vedrà saltellare. Il silenzio del risonatore, quando le sue branche A e B giacevano su due settori contigui, nasceva dalla mutua distruzione delle onde che sempre con opposte fasi andavano ad incontrarsi nel tubo C, imperocchè mentre da uno dei settori partiva una semionda condensata, dall'altro veniva fuori una semionda rarefatta. Quando poi i due tubi A e B sono venuti a raccogliere le onde prodotte da due settori, i quali perchè separati da un terzo, han dovuto nel loro movimento ascendere o discendere nel tempo stesso, allora le onde venute ad incontrarsi nel tubo C si son trovate sempre in una medesima fase di vibra-

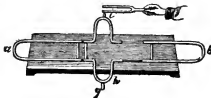
fig. 104.



zione; quindi un suono doppiamente rinforzato e dalla maggiore energia acquistata dalle onde nel loro incontro, e dalla risonanza eccitata nel tubo.

Un apparecchio assai acconcio a produrre i fenomeni d'interferenza è quello che si vede rappresentato nella (*fig.* 105) Due tubi *a* e *b*, curvati a guisa di U, sono scor-

fig. 105.



revoli a perfetto combaciamento su due altri che vi stanno racchiusi, e di cui una coppia è congiunta al tubo ricurvo *i*, l'altra al consimile tubo *h*; ai tubi *i* ed *h* stanno poi innestati i tubi *k* e *g*. Quando i tubi *a* e *b* sono avvicinati più che sia possibile ai tubi *i* ed *h*, o che ne sono egualmente allontanati, allora il cammino *iag* risulterà eguale a *ibg*; e se allora un diapason vibrante sia avvicinato all'apertura del tubo *k*, un osservatore che ponga l'orecchio all'estremità del tubo *g*, ne udirà il suono, imperocchè le onde prodotte dal diapason dopo aver percorso eguali spazii dividendosi per le vie *iag* ed *ibg*, dovranno pervenire in *g* con identiche fasi. Ma se uno dei tubi mobili, e poniamo che sia il tubo *b*, venga di tanto allontanato da *i* ed *h*, che il cammino *ibg* superi *iag* della lunghezza di una semionda, allora i movimenti delle onde s'incontreranno nell'origine del tubo *g* con opposte fasi di vibrazione, e rimarranno a vicenda distrutti prima di giungere all'orecchio dell'osservatore.

114. Se facciamo cantare insieme due canne di organo che differiscono di un semitono, udiremo una serie di colpi tanto più celere, per quanto è più alto il tono delle canne. Questo fenomeno, prodetto dell' interferenza dei due suoni, va conosciuto sotto il nome di *battimenti*. **Battimenti.**

Per vedere chiaramente la ragione del suo essere, giova premettere che nel suono, egualmente che in quel nastro luminoso, che osserviamo menando in giro un tizzo acceso, la continuità è semplicemente subbiettiva. Ed in vero, se facciamo urtare i denti di una ruota in moto contro un pezzo di carta alquanto doppia, udiremo una serie di colpi finchè la ruota avrà una moderata celerità; ma se qnesta si farà crescere gradatamente, alla udizione di una serie di colpi succederà quella di un suono, sul principio grave, e che poi andrà facendosi a mano a mano più acuto, come la celerità della ruota diverrà più grande.

Premesso ciò, poniamo che in ogni secondo la canna di tono più basso faccia 240 vibrazioni; l'altra dovrà farne 250, perchè siavi l'eccesso di un semitono. Tutte le 24ᵉ vibrazioni della 1ª canna, coincideranno dunque colle 25ᵉ vibrazioni della seconda, e di queste coincidenze ve ne saranno 10 in ogni secondo; le quali poichè avvengono tra semionde di una stessa fase, producono un momentaneo accrescimento nella forza del suono, che frangendo la legge di continuità si appalesa all' udito sotto la forma di quei colpi che diciamo *battimenti*.

Non dalle sole canne, ma da ogni sorta di strumenti musicali possono venir prodotti i battimenti. Così se prendiamo due diapason unisoni, montati sopra una stessa cassa sonora, ed alle branche dell' uno aggiungiamo un pezzetto di cera, la qual cosa farà scemare il numero delle sue vibrazioni, troveremo che ponendoci a farli cantare insieme, i battimenti non si faranno aspettare.

OTTICA.

I.

Moto diretto della luce.

Raggio luminoso—Leggi dell'irradiazione e dell'illuminazione—Ombra e penombra — Fotometria — Celerità della luce.

115. La luce procede in linea retta. Questa idea sta nella mente di ognuno che per poco siasi fatto a considerare i fenomeni della luce, imperocchè essa deriva immediatamente da cose che spontanee e frequenti si presentano agli occhi di tutti. Tal' è, a modo di esempio, quello spazio che mediante l'illuminazione dei corpuscoli galleggianti nell' aria, vediamo rischiarato dalla luce solare, quando pel vano di una finestra entra in una camera oscura; tali sono ancora quelle linee che vediamo disegnate in un' aria vaporosa, quando la luce solare s'immette per gl' interstizii delle nubi. Questi ed altri fatti che frequenti si offrono al nostro sguardo, ci menano necessariamente ad ammettere che il moto della luce sia rettilineo. Raggio luminoso.

Diciamo *moto della luce*, senza voler annettere un significato reale alla parola *moto*, e considerare in conseguenza la luce come una speciale materia. A suo luogo poi vedremo se all' espressione *moto della luce*, che per ora riteniamo come semplice modo di dire, debba o pur no corrispondere una realtà obbiettiva.

Le linee rette, secondo cui la luce agisce, han tolto il nome di *raggi luminosi*.

Leggi dell'irradiazione e dell'illuminazione.

116. — *1ª legge* — Può darsi che i raggi di luce abbiano una determinata inclinazione verso la superficie del corpo luminoso, e può darsi ancora che essi trovino in ogni punto di quella superficie un cominciamento di moto, che diffondendosi a guisa dei raggi di una sfera, venga poi ad attuarsi per ogni verso nello spazio ambiente.

Questi due concetti sono egualmente possibili, e perciò spetta all'esperienza decidere quale dei due sia vero. A tal uopo si prendano due tubi, AB e CD (*fig. 106*) di

fig. 106.



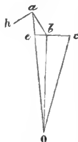
cartone o di altra materia opaca, e che siano scorrevoli l'uno nell'altro a modo di quelli di un cannocchiale. I due tubi abbiano un fondo chiuso, l'uno in B, l'altro in D: nel centro del fondo B vi sia un forellino, ed il fondo D sia fatto di vetro spulito o di altra sostanza semitrasparente. Pongasi innanzi al tubo AB la fiamma di una candela, e si guardi per lo interno del tubo CD; si vedrà dipinta sul fondo D un'immagine capovolta della stessa fiamma.

Questo fatto, mentre ci offre novella pròva del moto rettilineo della luce, dimostra nel tempo stesso che da ciascun punto della superficie di un corpo luminoso partono dei raggi, che a guisa di quelli di una sfera si diffondono per ogni verso nello spazio ambiente; imperocchè se così non fosse, ci sarebbe impossibile comprendere che raggi mossi dai singoli punti della faccia della fiamma, prospettica al fondo del tubo AB, abbiamo potuto incrociarsi nel foro *m*, per andare poi a dipingere sul fondo D un'immagine capovolta della stessa fiamma. E così abbiamo la 1ª legge dell'irradiazione luminosa:

Ogni punto della superficie di un corpo luminoso è centro d'irradiazione.

Questa legge ci fa comprendere come avvenga che i raggi solari, penetrando in una stanza buia per un piccolo spiraglio nelle imposte di una finestra, vadano a disegnare sull' apposta parete un cerchietto luminoso; e di simili cerchietti ci è dato talvolta di osservarne parecchi nell'ombra proiettata da un albero fronzuto. E lo stesso fenomeno potremo riprodurre a nostro piacere, opponendo normalmente ai raggi solari od a quelli di una fiamma un pezzetto di carta alquanto doppia, in cui sia stato scolpito un forellino triangolare, e ricevendo poi sopra una carta parallela alla prima la luce immessa per quel piccolo foro: vedremo nel 1° caso un cerchietto lucido, nel 2° un' immagine capovolta della fiamma. Questa indipendenza della figura dell' immagine da quella del foro sarebbe inesplicabile senza la sudetta legge; e tale realmente è stata (giacchè il fatto è noto da remotissimo tempo) finchè la legge non venne trovata nel 16° secolo da Maurolyc, fisico messinese.

fig. 107.



— 2ª *legge* — Rappresentino *ab* e *bc* (*fig. 107*) due piccolissime porzioni, o come direbbe un geometra, due elementi eguali della superficie di un corpo luminoso; i quali sappresentiamo con due linee rette, perchè non solamente li riguardiamo come piani, ciò che ci è concesso dalla loro estrema piccolezza qualunque sia la figura del corpo luminoso, ma perchè li vogliamo per semplicità perpendicolari al piano della figura; ed in questo medesimo piano poi supponiamo che l'occhio dell'osservatore occupi il punto O.

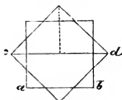
Dei raggi partiti dai diversi punti dell'elemento *ab* e da quelli di *bc* concorreranno, in virtù della 1ª legge, nel punto O; e se dall' uno e l'altro elemento fossero inviati in egual numero, quelli partiti da *ab*, poichè agirebbero sull' occhio come inviati dal prolungamento *be* dell' elemento *bc*, vi giungerebbero più serrati, e farebbero apparire l'elemento *ab* più splendente di *bc*. Laonde se tutti gli elementi della superficie di un corpo luminoso inviassero per un dato verso una quantità di raggi proporzio-

nale alla loro estensione, l'elemento maggiormente inclinato alla direzione dei raggi dovrebbe sembrare più luminoso degli altri.

Ammettiamo invece che le quantità di raggi inviati dagli elementi *ab* e *bc* sul punto O, siano proporzionali a *be* e *bc*, ossia proporzionali alle loro dimensioni prospettiche, allora il grado di splendore dei due elementi sarà lo stesso.

Ecco dunque due ipotesi, sulle quali l'esperienza è chiamata a decidere. Se fosse vera la 1ª ipotesi, la luce sul disco lunare dovrebbe apparire nell'orlo assai più viva che nel centro, la qual cosa non è conforme al fatto. Ma in vece di questa prova indiretta, ne possiamo avere una diretta mercè un esperimento che all'uopo è stato già eseguito. Prendasi una verga di ferro di figura parallelepipeda a base quadrata, ed abbiasi un sostegno su cui la verga possa verticalmente impiantarsi e ricevere un moto di rotazione intorno al suo asse. Posto l'apparecchio in un luogo perfettamente oscuro, vi si adatti la verga dopo averla fortemente arroventata; e si vedrà che nella sua rotazione, anzichè presentare ora le facce ed ora gli spigoli, apparirà in vece come una striscia luminosa che a vicenda si allarga e si restringe, secondochè del quadrato di sezione presenterà (*fig.* 108) il lato *ab* o la diagonale *cd*.

fig. 108.



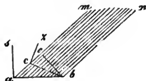
Soltanto la 2ª ipotesi è dunque vera. Ma prima di formolare la legge che ne deriva, fa d'uopo premettere una considerazione geometrica. Abbiamo detto che la quantità di raggi inviati al punto O (*fig.* 107) dagli elementi *ab* e *bc*, sono nella ragione di *be* a *bc*, ossia in quella di *be* a *ba*. Ma se l'elemento *be* è perpendicolare al raggio visuale dell'osservatore situato in O, il triangolo *abe* potrà riguardarsi come rettangolo in *e*, ed in questo caso il rapporto di *be* a *ba* è denominato dai geometri *coseno* dell'angolo *abe*; e poichè allora l'angolo *abe* è uguale all'angolo *hae* formato dalla *ha* perpendicolare all'elemento

ab, e l'angolo *hae* è denominato *angolo di emissione* del raggio *a*O; così la 2ª legge, di cui parliamo, deve formolarsi nel seguente modo:

La quantità di raggi che un elemento qualunque della superficie di un corpo luminoso invia in una data direzione, è proporzionale al coseno dell'angolo di emissione dei medesimi raggi.

Scambiando l'angolo di emissione coll'angolo d'incidenza, questa legge rimane vera anche rispetto alla quantità di luce, che la superficie di un corpo riceve da raggi luminosi che la incontrano nel loro cammino, e dalla quale quantità di luce dipende in gran parte il fenomeno della illuminazione. Ed in vero sia *mabn* (*fig.* 109) un fascetto di raggi paralleli, che incontri l'elemento *ab* della superficie di un corpo sotto l'incidenza *mas*. È chiaro che la stessa quantità di luce sarebbe stata ricevuta dall'elemento *bc* sotto l'incidenza *mcz* minore di *mas*, e dall'elemento *be* sotto l'incidenza normale. Prendendo come unità la quantità di raggi ricevuti dall'elemento *be*, quelle che riceveranno le porzioni eguali a *bc*, tolte sugli elementi *be* e *ba*, saranno espresse dai fratti $\frac{be}{bc}$ e $\frac{be}{ba}$, ossia dai coseni degli angoli *cbe* ed *abe*, i quali angoli sono eguali a quelli delle rispettive incidenze.

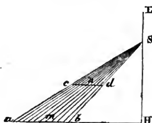
fig. 109.



— 3ª *legge* — Rappresenti S (*fig.* 110) un centro luminoso, ed *ab* un elemento di superficie che ne viene illuminato. Se con un piano parallelo a quello dell'elemento *ab* tagliamo il fascio di raggi che lo incontrano, e riguardiamo la sezione *cd*, che ne risulta, come un nuovo elemento di superficie, è chiaro che i due elementi *ab* e *cd* riceverebbero la stessa quantità di raggi dalla sorgente S. Ma se l'elemento *cd* passasse ad occupare il luogo dell'elemento *ab*, riceverebbe meno raggi di prima, e precisamente nella ragione dell'area di *cd* a quella di *ab*.

Questa ragione, come insegna la Geometria, è la stessa che quella dei quadrati delle distanze Sn, ed Sm dei due elementi dal centro S; dunque la quantità di raggi, che un elemento di superficie riceve da un centro luminoso, decresce come più grande diviene il quadrato della distanza dell'elemento dal centro raggiante. Quindi la legge:

fig. 110.

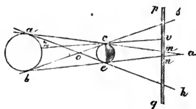


L'azione illuminante varia in ragione inversa dei quadrati delle distanze dal centro d'irradiazione.

Combinando questa 3ª legge colla 2ª, si trova che qualora la sorgente S si faccia muovere lungo la LH (*fig. 110*) perpendicolare al piano dell'elemento ab, la sua azione illuminante su questo elemento sarà nulla, e quando la sorgente si troverà in H, e quando se ne sarà allontanata per grandissima distanza. Ma una grandezza, e serva di esempio la distanza che corre tra i punti di una circonferenza ed il suo diametro, non può cominciare da zero e tornare novellamente a zero, senza aver toccato un valore massimo; perciò vi dovrà essere un'altezza che renderà massima l'azione della sorgente S sull'elemento ab, e quest'altezza, come i matematici dimostrano, pareggia $\frac{7}{10}$ della distanza che passa tra il piede H della perpendicolare ed il luogo m occupato dall'elemento ab.

Ombra e penombra.

fig. 111.



117. Dal modo con cui la luce parte dalla superficie di un corpo luminoso e si diffonde nello spazio, dipendono i fenomeni dell'ombra e della penombra. Sia ab (*fig. 111*) un corpo luminoso, e ce un

corpo opaco, vale a dire un corpo pel cui mezzo la luce non passa. Immaginiamo una retta *ad*, che giri intorno ai due corpi standone sempre a contatto; verrà così generata una superficie conica, che definirà lo spazio *cde*, nel quale non potrà penetrare veruno dei raggi inviati dal corpo *ab*. Lo spazio *cde* costituisce *l'ombra* propriamente detta; e se lo taglieremo con un piano *pq*, la sezione *mn* sarà *l'ombra portata*.

Immaginiamo una seconda retta *bs* che giri ancora intorno ai due corpi toccandoli per lati opposti; ne verrà generata una superficie conica a due nappi, che avrà centro nel punto *o*, e lo spazio racchiuso tra il nappo *soh* e l'ombra *cde*, si denomina *penombra*. La quantità di raggi, che il corpo luminoso potrà inviare in questo spazio, andrà decrescendo dal limite *es* al limite *ed*, imperocchè se il punto *p* può ricevere raggi da tutto l'arco *azb*, il punto *u* non potrà riceverne che dalla sola parte *az*. Quindi si comprende la cagione di quella sfumatura che sempre si osserva intorno all'ombra portata da un corpo.

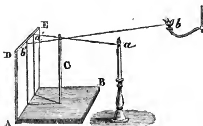
Quando il corpo luminoso è maggiore del corpo opaco, qual'è il caso rappresentato dalla *fig. 111*, allora l'ombra sarà finita; ma se il corpo luminoso fosse eguale o minore del corpo opaco, l'ombra riuscirebbe infinita. La penombra poi sarà sempre infinita, e non cesserà di esistere se non quando il corpo luminoso sia ridotto ad un punto raggiante.

Tutti i pianeti sono minori del sole, tutte le loro ombre son dunque finite; e se quella prodotta dalla terra, può incontrare la luna ed eclissarla, non può fare altrettanto con verun altro pianeta, appunto perchè non sa raggiungerlo.

118. La parola *fotometria* è tolta dal greco e suona *misura della luce*, ossia misura della forza illuminante di un corpo che dà luce; e *fotometri* si dicono gli apparecchi all'uopo inventati. Uno dei primi ad esser ideati fu quello di Rumford, che si vede rappresentato nella (*fig. 112*). Consiste in una tavoletta AB, su cui stanno perpendicolarmente impiantati il telajo di carta AE ed il bastone C. Poniamo che con questo apparecchio si voglia determinare il rapporto della forza illuminante del gas a quella di **Fotometria.**

una candela. Si disponga l'apparecchio in modo che le ombre a' e b' prodotte dal bastone C, illuminato contem-

fig. 112.



poraneamente dalla fiamma a della candela e dall'altra b del gas, cadano sul telajo AE. Se ciascuna delle due luci agisse sola, l'ombra projettata dal bastone sarebbe perfettamente nera; ma l'ombra a' riceve luce da b e b' da a; dunque le illuminazioni prodotte dalle due fiamme saranno eguali, quando fatte variare convenientemente le loro distanze dal telajo AE, si scorgerà uno stesso grado di nero nelle due ombre portate. Allora si misurino le distanze aa' e bb', e la forza illuminante della candela sarà a quella del gas come il quadrato di aa' è a quello di bb'.

Ed in vero indichiamo con x ed y le illuminazioni prodotte dalle due fiamme in distanze eguali all'unità lineare, avremo per la 3ª legge (nº 117) che le forze illuminanti x ed y per l'unità di distanza, diverranno $\frac{x}{(aa')^2}$, e $\frac{y}{(bb')^2}$ nelle distanze aa' e bb'. Ma per queste due distanze le illuminazioui sono riuscite eguali; sarà dunque:

$$\frac{x}{(aa')^2}=\frac{y}{(bb')^2}.$$

La quale eguaglianza ci dà la proporzione di sopra enunciata.

Di un uso assai più spedito è il semplicissimo fotometro ideato da Bunsen. Consiste in un telarino di carta di 3 a 4 pollici di diametro, e sul cui centro si è fatta cadere una goccia di stearina. La macchia, che vi lascia questa sostanza, apparisce oscura quando l'occhio trovasi tra il telarino e la sorgente luminosa, ed in vece si vedrà trasparente, guardando la luce attraverso del telarino. Volendo con questo fotometro comparare tra loro le forze di due luci, si farà scorrere normalmente alla retta che le unisce finchè non si vedrà sparire la macchia centrale. Allora si avrà la certezza che la quantità di luce di una sorgente, riverberata dalla macchia centrale, è divenuta eguale a quella che la stessa macchia trasmette dell'altra sorgente.

Col fotometro di Bunsen si possono agevolmente verificare la 2ª e 3ª legge d'illuminazione esposte nel nº 117. Volendo verificare la 2ª si prenderanno due candele di egual forza, e si porranno l'una a destra del telarino sopra una perpendicolare alla macchia centrale, e l'altra a sinistra alquanto sopra o sotto della stessa perpendicolare; e si troverà che quando la macchia centrale sarà divenuta invisibile la seconda candela le sta più vicina della prima.

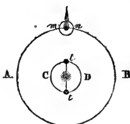
Per verificare poi la 3ª legge si prenderanno 5 fiamme di egual forza, e se ne porrà una a sinistra del telarino, ed a destra le altre quattro aggruppate insieme. Facendo muovere il telarino normalmente alla retta che unisce le due sorgenti luminose, si troverà la macchia centrale riuscire invisibile quando la sua distanza da una fiamma sarà divenuta metà di quella che la separa dalle quattro unite insieme; risultamento conforme al principio che pone l'illuminazione esser variabile in ragione inversa dei quadrati delle distanze.

I fotometri di Rumford e Bunsen, egualmente che tutti gli altri finora proposti, hanno il grave inconveniente di non poter servire che alla comparazione di luci di uno stesso colore.

119. La luce è realmente *qualche cosa* che va dal corpo luminoso all'illuminato, poichè vi è bisogno di un tempo perchè passi dall'uno all'altro. Il primo che scoprì l'esi- Celerità della luce.

stenza di questo tempo e ne trovò la misura, fu l'astronomo danese Roëmer nel 1675, ed ecco come. Intorno al pianeta Giove si aggirano quattro lune o satelliti, che in ragione della loro vicinanza al pianeta principale, si distinguono coi nomi di 1°, 2°, 3° e 4°. Il 1° compie il suo giro in 42 ore, 28 minuti e 35 secondi, e ad ogni volta rimane per qualche tempo occultato dall'ombra del pianeta. Giove, lontano dal sole assai più che la terra, compie il suo giro in circa 12 anni; quindi la terra, la cui orbita supponiamo essere CD (*fig. 113*) mentre rappresentiamo con AB quella di Giove, dovrà trovarsi più volte in un periodo di 12 anni, ora nella minima distanza da questo pianeta ed ora nella massima. Or se comincisi a contare da un'occultazione del satellite, quando la terra è in *t* nella minima distanza da Giove, e poi per periodi di 42°, 28^m e 35^s si proceda finchè il nostro pianeta non abbia raggiunta la massima distanza in *t'*, si troverà che l'ultima occultazione calcolata si farà aspettare di 16 minuti e 26 secondi prima di riprodursi. È chiaro che questo ritardo va dovuto al tempo impiegato dalla luce solare nel percorrere il diametro *tt'* dell'orbita terrestre; e poichè il moto della luce solare è uniforme, come lo stesso Roëmer ha dimostrato, così siamo certi che essa deve impiegare 8 minuti e 13 secondi per venire dal sole a noi.

fig. 113.



Dalla combinazione del moto annuo della terra con quello della luce che ci mandano le stelle, prende origine un fenomeno astronomico, conosciuto sotto il nome di *aberrazione delle stelle*, e che consiste in farci vedere ciascuna di esse come movendosi per una piccola ellisse nel corso di un anno. Non staremo qui a chiarire questo fatto, perchè devieremmo troppo dal nostro proposito: lo abbiamo voluto accennare, come quello che chiaramente fa conoscere esser la velocità della luce la stessa per tutte le stelle, ed eguale a quella della luce solare. E se a ciò ag-

giungiamo aver l'esperienza dimostrato che un'eguale velocità posseggono le diverse luci artificiali, avremo quanto basta a poter conchiudere che la velocità della luce, non altrimente che quella del suono, è indipendente dalla natura del corpo che la invia. È questa una prima analogia che scorgiamo tra il suono e la luce; in seguito avremo occasione di rilevarne delle altre, fino a poter conchiudere che il moto della luce va per mezzo di onde nello stesso modo che quello del suono.

Or la indipendenza della celerità della luce dalla natura del corpo luminoso può meglio che ogni altra cosa farci comprendere quanto sia grande l'immensità dello spazio celeste. Ed in vero, gli astronomi oggi sanno che la stella Sirio, a modo di esempio, ci è lontana quasi un milione di volte più che il sole. Un raggio dunque di questa stella dovrà pervenirci in un tempo altrettante volte più grande, vale a dire che impiegherà circa 15 anni. In conseguenza, allorchè volgiamo l'occhio a questa stella, e crediamo osservare quel che essa è in quello istante, in realtà non osserviamo se non quello che essa era 15 anni prima. E ciò della stella Sirio, una delle più splendenti nella volta celeste; e che dovremo poi dir di quelle, che un'enorme distanza ci fa vedere sotto la forma di *nebulose*, vale a dire sotto forma di un leggiero vapore biancastro? La loro luce forse impiegherà secoli per venire a noi. Per la qual cosa mal non si apponeva il celebre Herschell, quando diceva potersi dare che nel cielo vi fossero stelle, il cui primo raggio non sia pervenuto ancora all'occhio dell'uomo.

II.

Riverberazione della luce.

Diffusione e riflessione speculare — Specchi piani — Caleidoscopio — Specchi curvi — Caustiche — Idea delle anamorfosi.

120. Sappiamo che i raggi solari, penetrati per un piccolo spiraglio nell'interno di una camera oscura, dipingono sull'opposta parete un cerchietto luminoso, immagi- **Diffusione e riflessione speculare.**

ne capovolta del sole; ed ora aggiungiamo che quel cerchietto prende il colore della parete su cui è dipinto. Lo potremo vedere da ogni punto della camera oscura, e ciò dimostra che i raggi sono rimbalzati per ogni verso dall'ostacolo che hanno incontrato; ed il tornare che fanno con un colore sovente diverso da quello che avevano, ci fa certi che una modificazione hanno patita nell'atto del rimbalzo. E diciamo *rimbalzo* per esprimere la ragione che a prima vista ci rendiamo della visibilità di quella superficie illuminata, e non perchè volessimo fin da ora stabilire che vi sia una reale ripercussione dell'azione luminosa; che anzi troveremo in seguito sufficienti motivi a dover credere che il fatto sia analogo alla risonanza, piuttosto che all'eco.

Questa maniera di ritorno della luce dai corpi illuminati ha ricevuto il nome di *diffusione*.

Ma se nel luogo colpito dai raggi solari, entrati nella camera oscura, si trovi un forbitissimo specchio, più non vedremo il cerchietto luminoso, ma per mezzo dei corpuscoli galleggianti nell'aria scorgeremo quei raggi venirne tutti riverberati per una stessa via, per la quale poi andranno a dipingere l'immagine solare sul primo corpo che si pari d'innanzi; e qualunque sia il colore della materia di cui è fatto lo specchio, purchè la superficie sia di perfetta levigatezza, la luce da esso riverberata avrà sempre lo stesso colore della luce incidente.

Questo secondo modo di rimbalzo della luce, ed il rimbalzo in questo caso è reale, ha ricevuto il nome di *riflessione speculare*, come quella ch'è propria delle superficie specchianti.

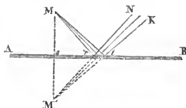
Abbiamo accennato ad una speciale direzione dei raggi specularmente riflessi. Or questa direzione va definita nel seguente modo:

Il raggio incidente ed il raggio riflesso si trovano sempre in un piano normale alla superficie riflettente, e formano angoli eguali colla normale menata pel punto d'incidenza.

Questa legge della riflessione speculare è dimostrata vera da tutti i fenomeni che presentano gli specchi sì piani che curvi.

121. Rappresenti AB (*fig. 114*) uno specchio piano visto di profilo; sia M un punto luminoso, e di tutti i raggi che esso invia allo specchio, facciamoci a considerarne il solo fascetto *Mrt*. Immaginiamo condotta dal punto M la Ms perpendicolare al piano dello specchio, e prolungata di altrettanto in M'; indi si unisca questo punto con ciascuno di quelli in cui i raggi del fascetto incontrano il piano dello specchio, e si prolunghino le congiungenti come si vede nella *fig.* Specchi piani.

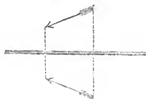
fig. 114.



I due triangoli M*rs*, M'*rs* sono eguali, perchè hanno l'angolo M*sr* = M'*sr*, il lato *rs* comune ed il lato Ms = M's; sarà dunque l'angolo M*rs* = M'*rs*: ma l'angolo M'*rs*, come opposto al vertice, è eguale N*r*B, sarà dunque l'angolo M*rs* = N*r*B, ed elevando la normale *rh*, avremo l'angolo di riflessione N*rh* eguale a quello d'incidenza M*rh*. Lo stesso avremmo pei rimanenti raggi del fascetto incidente M*rt*.

Laonde se la legge della riflessione speculare è vera, N*rtk* dovrà essere il fascetto riflesso; e l'occhio dell'osservatore, avvezzo a giudicare la situazione di un oggetto sul prolungamento dei raggi dai quali è colpito, dovrà vedere nel punto M', simmetrico ad M, un'immagine di quest'ultimo; la qual cosa è pienamente conforme al fatto.

fig. 115.

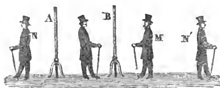


Dalla stessa costruzione geometrica con cui si è determinata la posizione del punto M', si rileva che l'immagine deve farsi più o meno vicina al piano dello specchio egualmente che fa l'oggetto dal lato opposto; e perciò se in vece di un punto si abbia un oggetto di finite dimensioni, esso e la

sua immagine, come si vede nella (*fig. 115*), dovranno costituire due figure simmetriche rispetto al piano dello specchio. Quindi è che degli edifizii situati presso al mare se ne vede sotto il livello dell'acqua un'immagine capovolta.

Mercè lo stesso principio possiamo renderci ragione del-

fig. 116.

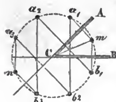


la moltiplicità d'immagini che presenta un oggetto situato tra due specchi paralleli o tra due specchi tra loro inclinati sotto un certo angolo. Immaginiamo di trovarci tra i due specchi paralleli A e B (*fig. 116*) e di fronte allo specchio B. Vedremo così prodotta in M l'immagine della parte anteriore del nostro corpo, mentre la posteriore si vedrebbe disegnata in N da chi guardasse sullo specchio A; e poichè da questo la luce è rinviata verso B come se movesse da N, così vedremo riprodotta in N' l'immagine della parte posteriore del nostro corpo, ed a tanta distanza da B, di quanta n'è lontana la N. Similmente i raggi che tornando da B ci han fatto vedere l'immagine M, incontrando poi lo specchio A e venendone respinti nuovamente su B, ci faranno vedere ripetuta l'immagine M al di là della N'. Dimodochè se la luce da ciascuna riverberazione non tornasse assai scemata, dovremmo vedere dietro lo specchio B una lunga serie d'immagini che riprodurrebbero a vicenda or la parte anteriore ed or la posteriore della nostra figura.

Caleidoscopio. 122. Supponiamo due specchi, A e B (*fig. 117*) inclinati tra loro sotto un angolo metà di un retto, e che in mezzo ad essi sia posto l'oggetto *m*. Dietro una prima riflessione lo specchio A ne farà vedere un'immagine in a_1, ed

un'altra per opera dello specchio B si presenterà in b_1. A queste due prime riflessioni seguiranno due altre, mercè le quali si vedranno le immagini a_2 e b_2; da una 3ª riflessione su i due specchi si avranno le due immagini a_3 e b_3; e finalmente due 4ᵉ riflessioni produrranno due immagini coincidenti in n. La teoria matematica della produzione di queste immagini, e che dà il modo di assegnarne il numero qualunque sia l'angolo degli specchi, dimostra che dalle ultime riflessioni si avranno due immagini coincidenti, sempre che l'angolo degli specchi sarà parte aliquota pari di 4 retti, vale a dire che ne sarà la 4ª parte, o la 6ª, la 8ª, ecc.

fig. 117.



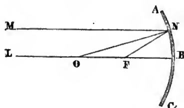
Or se l'occhio dell'osservatore si trovi tra i lati dell'angolo formato dagli specchi A e B egli vedrà l'oggetto m e le sue sette immagini, ordinate sulla circonferenza che ha per raggio Cm. E se in vece di un oggetto solo se ne avessero parecchi, che insieme ai due specchi si trovassero chiusi in un tubo, allora facendolo girare lentamente intorno al suo asse, quegli oggetti verrebbero facendo diversi gruppi, e le loro ripetute immagini ci presenterebbero varii sistemi di figure simmetriche assai belle a vedersi. Quindi il nome di Caleidoscopio (da *calos* bello, *idos* forma e *scopeo* io guardo) dato a questo giuochetto fisico dal suo inventore Brewster.

123. Gli specchi curvi sono ordinariamente sferici, e talvolta parabolici, cilindrici od anche conici. Uno specchio sferico non è che una porzione di superficie sferica, lavorata sulla concavità o la convessità dello specchio, e terminata come lo sarebbe stata se si fosse tolta da un'intera superficie sferica mercè la sezione di un piano; e siccome ogni sezione che un piano può fare sopra una sfera, sarà sempre un cerchio, così l'orlo di uno specchio sferico è sempre circolare. Immaginando menata una perpendicolare al piano di questo cerchio terminale e pel suo centro, si ha *l'asse* dello specchio; e l'arco secondo cui un piano menato per l'asse taglia la superficie di uno spec- Specchi curvi.

chio sferico, definisce non colla sua effettiva lunghezza ma col numero dei gradi che racchiude, la così detta *apertura* dello specchio.

Premesse queste nozioni, immaginiamo essere ABC (*fig. 118*) l'apertura di uno specchio concavo, LB il suo asse, ed O il suo *centro di curvatura*, ossia il centro della sfera di cui fa parte la superficie dello specchio; e poniamo in primo luogo che lo specchio sia incontrato da un raggio luminoso diretto secondo l'asse LB. Poichè questa linea è normale alla superficie riflettente, così il raggio LB dovrà venirne respinto per la stessa linea.

fig. 118.

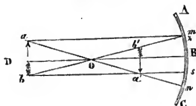


Poniamo in secondo luogo che MN, parallela ad LB, sia la direzione del raggio incidente. Menato il raggio di figura ON, che rappresenta la normale in N, si faccia l'angolo ONF = ONM, sarà NF la direzione del raggio riflesso; e poichè la superficie dello specchio è simmetrica rispetto al suo asse, così se immaginiamo un fascio di raggi luminosi, tutti paralleli ad LB e distanti da questa linea di quanto n'è il raggio MN, tutti saranno riverberati verso il punto F.

Qualora il raggio MN sia molto vicino ad LB, il punto F giacerà nel mezzo della OB. Imperocchè gli angoli FNO ed FON essendo eguali tra loro perchè eguali ad MNO, il triangolo OFN sarà isoscele e sarà OF = FN; ma quando il punto N è vicinissimo a B, sarà prossimamente FN = FB, e quindi FB = FO. Il punto F, medio di OB, si denomina *fuoco principale* dello specchio; e se questo ha piccola apertura, si ritiene che tutti i raggi incidenti parallelamente all'asse, debbono dopo la riflessione passare pel punto F. Realmente la cosa non va così, e la Matematica sa dirne la ragione; ma nel fatto si trova che la divergenza è abbastanza piccola.

Ritenendo i due principii — 1° che ogni raggio luminoso diretto secondo l'asse, debba ritornare per la stessa via — 2° che ogni raggio parallelo all'asse sia riverberato al fuoco principale — Ritenendo questi due principii si rende molto facile la costruzione delle immagini prodotte dagli specchi sferici. Ed in vero, sia *ab* (*fig. 119*) l'oggetto presentato allo specchio sferico ABC, di cui O sia il centro di curvatura e DB l'asse. Tra i diversi raggi luminosi inviati dal punto *a*, ve ne sarà almeno uno, come *am*, che camminerà parallelo all'asse DB, ed un altro, *an*, che passerà pel centro O. Il primo dietro la sua riflessione passerà pel fuoco principale F, il secondo ricalcherà la stessa via di prima; s'incontreranno dunque in *a'* insieme ai rimanenti raggi che partiti da *a* vengono dallo specchio riverberati, ed ivi dipingeranno l'immagine del punto *a*. Similmente i raggi *bs* e *bz*, ritornando dallo specchio s'incontreranno in *b'* e definiranno il luogo che dovrà occupare l'immagine del punto *b*. E così avremo l'immagine *a'b'*, impiccolita e capovolta.

fig. 119.

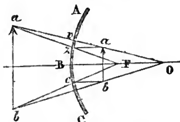


I punti *a* ed *a'*, *b* e *b'* si dicono *fuochi coniugati*, stante che da qualunque dei due punti di simili coppie partano i raggi luminosi, essi dopo la riflessione andranno a riunirsi nell'altro punto, sia *realmente* (come nel caso rappresentato dalla *fig. 119*) sia *virtualmente* (come nel caso degli specchi piani, e come andiamo a vedere anche per gli specchi curvi). Quindi è che le immagini, che ne risultano, si distinguono ancora in *reali* e *virtuali*.

Supponiamo che l'oggetto *ab* (*fig. 120*) si trovi tra la superficie dello specchio ABC ed il suo fuoco principale F. Menando la *az* parallela all'asse OB, e la O*a*, che unisce il punto *a* col centro di curvatura O, i raggi incidenti che vanno secondo *av* ed *az*, saranno riverberati nelle di-

rezioni *v*O e *z*F; le quali riusciranno divergenti, finchè sarà *az* minore di FB e quindi di FO, e perciò avranno un incontro virtuale in *a'*: dicasi lo stesso del raggio *bc* parallelo all'asse, e del raggio *bt* che va nella direzione del raggio di curvatura O*t*. I raggi dunque, che partiti da *a* e *b* vengono poi riflessi dallo specchio, saranno ricevuti dall'occhio dell'osservatore come se venissero da *a'* e *b'*; e faranno in conseguenza vedere in *a'b'* un'immagine virtuale dell'oggetto *ab*, diritta ed ingrandita.

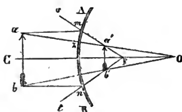
fig. 120.



Se in fine l'oggetto si trovasse nel fuoco principale, i pennelli di raggi divergenti, inviati sullo specchio dai diversi punti dell'oggetto, ne verrebbero riflessi sotto forma di altrettanti fascetti di raggi paralleli, e non potrebbero in conseguenza darci immagine nè reale, nè virtuale.

Con analoga costruzione si possono determinare le immagini prodotte dagli specchi sferici convessi. Rappresenti AB (*fig. 121*) un simile specchio, di cui O sia il centro di curvatura, CO l'asse ed F il fuoco principale, che è virtuale. Si congiungano i punti *a* e *b* dell'oggetto *ab* col centro O, e dai medesimi punti si conducano *am* e *bn* parallele all'asse CO. Il raggio, che parte da *a* nella direzione *a*O, sarà rinviato dallo specchio in opposta direzione, e l'altro *am*, che cammina parallelo all'asse, verrà riflesso secondo il prolungamento *ms* della congiungente i punti F ed *m*. I rag-

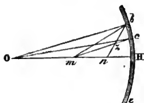
fig. 121.



gi così riflessi, *za* ed *ms*, hanno un incontro virtuale in *a'*, ed in questo punto apparirà l'immagine del punto *a*: similmente *b* avrà la sua immagine virtuale in *b'*, e l'osservatore vedrà in *a'b'* disegnata l'immagine dell' oggetto *ab*. Dal che si rileva che le immagini prodotte dagli specchi sferici convessi, debbono riuscir sempre virtuali, diritte ed impiccolite.

124. Se da un punto O (*fig. 122*) diverso dal centro dello specchio *b*H*e*, partono i due raggi O*c* ed O*b*, e che il primo dopo la riflessione vada ad incontrare l'asse dello specchio nel punto *m*, il secondo più lontano dall'asse che il primo, dovrà incontrarlo in un punto *n* più vicino alla superficie dello specchio. Questa proposizione risulta da dimostrazione matematica, ed è vera non solamente pei raggi divergenti da un punto, ma per quelli ancora che vanno paralleli all'asse. E da essa necessariamente deriva che se i due raggi incidenti stanno in un medesimo piano coll'asse, o (come direbbe un matematico) stanno in un medesimo *meridiano* dello specchio, i corrispondenti raggi riflessi, *cm* e *bn*, dovranno intersecarsi in un punto *z*, giacente fuori dell'asse. Caustiche.

fig. 122.



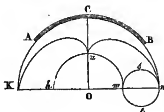
Or se dell'intero fascio di raggi contenuti in un meridiano dello specchio ci facciamo a considerare la intersezione del 1° raggio riflesso col 2°, di questo col 3°, e via dicendo, vedremo nascerne l'idea di una linea continua, essendo che i raggi sono vicinissimi tra loro, e questa linea continua è una *caustica*, così denominata perchè in quei punti d'intersezione donde essa deriva, la caloricità si è considerata come somma di quelle dei raggi ivi intersecati.

La forma della caustica varia secondo la diversa natura della curva generatrice dello specchio e secondo la diversa direzione dei raggi incidenti. Nell'ipotesi che questi vengono paralleli all'asse di uno specchio sferico, la

Matematica ci dà la seguente regola per costruire la caustica.

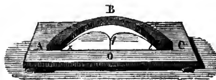
Sia l'arco circolare ACB (*fig. 123*) un meridiano dello specchio, O sia il centro ed OC l'asse. Pel punto O si conduca la *kn* perpendicolare ad OC; e collo stesso punto O come centro e col raggio O*z*, metà di OC, si descriva il semicircolo *hzm*. Indi sulla *mn* eguale ad *om* si descriva il circolo *msnt*, e lo si faccia scorrere rotando sul semicerchio *mzh* pel verso indicato dalla freccia. Dopo la metà del suo giro il punto *n* del nuovo circolo verrà a toccare in *z* la semicirconferenza su cui si muove, e dopo un altro mezzo giro andrà ad incontrare in *k* il prolungamento della *mh*. Così il punto *n* del cerchio mobile avrà descritto le due curve *nz* e *zk*, simmetriche rispetto ad OC, e che formano la caustica richiesta; la quale, se l'arco ACB si estendesse alla semicirconferenza *kCn*, lo toccherebbe interiormente nei punti *n* e *k*.

fig. 123.



Per verificare questo risultamento, si prenda uno specchio cilindrico di metallo ABC (*fig. 124*), la cui base (ossia il suo meridiano) sia un semicerchio, bianco e perfettamente piano. Si esponga lo specchio ai raggi solari in modo da esserne incontrato parallelamente al suo asse OB e quindi tangenzialmente al piano della sua base; e sarà bello allora il vedere disegnata da viva luce la caustica *zft*, nella forma precisa che il ra-

fig. 124.

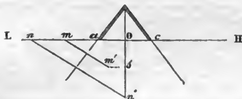


gionamento matematico ha saputo scoprire, e come dai raggi riflessi venga illuminata la parte del piano compresa tra la caustica e lo specchio, senza che veruno ne penetri nella parte che giace tra la caustica ed il diametro zt; la qual cosa riferma il trovato matematico, che i raggi riflessi da uno specchio debbono tutti riuscire tangenti alla caustica da essi prodotta.

Questa esatta coincidenza del fatto con un risultamento teoretico, ottenuto per mezzo di moltiplici considerazioni, è la prova più convincente che nella riflessione speculare l'angolo di riflessione giace con quello d'incidenza in un medesimo piano normale alla superficie riflettente e gli è perfettamente eguale, imperocchè questo è il principio donde il ragionamento matematico è partito per arrivare alla determinazione della caustica. E se le logiche deduzioni di un principio son reali, è d'uopo che lo sia il principio stesso.

125. Rappresenti abc (*fig. 125*) la sezione fatta sopra uno **Idea delle anamorfosi.**

fig. 125.



specchio conico mercè un piano menato per l'asse bo, pel cui verso supponiamo che l'osservatore guardi sullo specchio dall'alto in basso. Così del punto m, giacente sul piano LH della base del cono, egli vedrà l'immagine in m', e perciò un circolo di raggio om, che per avventura si trovasse disegnato sul piano LH concentricamente alla base del cono, gli apparirebbe riprodotto col raggio $m's$; quindi se n fosse tal punto del piano LH, che menandone la perpendicolare al lato ba del cono e prolungandola di altrettanto si andasse ad incontrare precisamente un pun-

to *n'* dell'asse *bo*, allora questo punto diverrebbe immagine del circolo descritto col raggio *on*.

Dalle quali cose si rileva come debba apparire trasformata dalla riflessione dello specchio la figura di un oggetto, disegnato sul piano LII intorno alla base del cono; e come viceversa debba andare alterata la figura da disegnarsi sullo stesso piano, perchè la riflessione speculare la restituisca nella sua forma naturale. Queste figure, che la Geometria insegna a poter determinare, hanno ricevuto il nome di *anamorfosi* (da *ana* di nuovo *morphoso* io formo), perchè colla riverberazione delle loro immagini ricompongono la vera figura dell'oggetto.

Abbiamo tolte ad esempio le anamorfosi degli specchi conici, ma se ne costruiscono ancora per uso di specchi cilindrici.

III.

Rifrazione della luce.

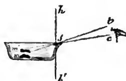
Legge della rifrazione — Spiegazione di alcuni fenomeni — Angolo limite — Fata morgana — Prisma — Iride — Righe dello spettro — Analisi spettrale.

Legge della rifrazione. 126. La luce cammina in linea retta, finchè non passi da un mezzo ad un altro, o che nel mezzo che percorre, non incontri falde più o meno dense di quelle che ha già traversate. Mancando una di queste due condizioni, il raggio luminoso nell'incontrare un nuovo mezzo, o nello stesso mezzo una falda di diversa densità, devierà dal suo cammino, come se in quell'incontro si fosse spezzato; e da ciò il nome di *rifrazione* dato a questo deviamento del raggio luminoso.

Poniamo sul fondo di un bacino (*fig. 126*) una moneta, ed allontaniamoci finchè l'orlo del bacino c'impedisca di vederla, vale a dire finchè il raggio *mt*, che muove dal punto più lontano della moneta e tocca l'orlo del bacino, non possa incontrare l'occhio che supponiamo in c. Allora facciamo versar dolcemente dell'acqua nel bacino, e tosto la moneta ci apparirà in *m'* sul prolungamento di *sc*, come se

il fondo del recipiente si fosse elevato. Ciò dimostra che il raggio *ms*, nell'emergere dall'acqua pel punto *s*, ha deviato dal cammino *st*, e prendendo la via *sc* ci ha fatto vedere la moneta sul suo prolungamento *sm'*. Or menando pel punto *s* la *hh'* normale alla superficie dell'acqua, troviamo l'*angolo di rifrazione hsc* maggiore dell'*angolo d'incidenza msh'*; vale a dire che la luce nel passare dall'acqua nell'aria, ossia da un mezzo più denso in un altro meno denso, si è allontanata dalla normale menata pel punto d'incidenza.

fig. 126.



Se poi il raggio luminoso passasse viceversa dall'aria nell'acqua, allora l'angolo di rifrazione riuscirebbe minore di quello d'incidenza. Questo risultamento, conseguenza necessaria del primo, può essere intanto direttamente verificato mercè il semplicissimo apparecchio rappresentato dalla (*fig. 127*). Il quale si compone di due tavolette AB e BC, unite ad angolo retto, e delle tre lamine di cristallo *mn*, *mh* ed *st*, che congiunte tra loro e fermate con mastice in apposite cavità scolpite sulle due tavolette, formano un recipiente che va riempito di acqua. Esposto l'apparecchio ai raggi del sole o di una candela, in modo che la tavoletta AB projetti un'ombra sulla CB, si troverà che quella projettata sul fondo del vase è più corta delle due che ne stanno fuori; la qual cosa dimostra che i raggi penetrati nell'acqua si sono rifratti avvicinandosi alla normale d'incidenza.

fig. 127.



Non la sola differenza di densità, ma anche la varia natura del mezzo influisce a deviare il cammino della luce. L'acido solforico, a modo di esempio, è più denso dell'ac-

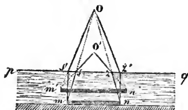
qua, ed intanto rifrange la luce meno di questa. Newton trovò che i corpi combustibili rifrangono fortemente la luce, e trovando che nell'acqua e nel diamante la rifrazione è assai grande rispetto alle loro densità, ne dedusse che in questi due corpi dovesse esistere qualche sostanza combustibile; e ciò diceva quando l'acqua si riteneva per corpo semplice, e nel diamante non si vedeva che una pietra. Un secolo più tardi la Chimica trovava nell'acqua l'idrogeno, e scopriva che il diamante non è altra cosa che pure carbonio.

La rifrazione della luce è sottoposta alla stessa legge della rifrazione del suono; vale a dire che il raggio incidente ed il raggio rifratto stanno in un piano normale alla superficie di separazione dei due mezzi, e che tra i seni degli angoli d'incidenza e rifrazione esiste un rapporto costante per due dati mezzi. Questa legge non è stata verificata pel suono che a giorni nostri, ma rispetto alla luce è di vecchia data. Essa porta il nome di *legge di Cartesio*, essendochè se questo filosofo non n'è stato lo scopritore, è stato almeno il primo a formolarla come rapporto costante di due seni.

Spiegazione di alcuni fenomeni.

127. Se poniamo delle frutta a rinfrescare in un bicchiere con acqua, le vedremo attraverso il liquido più grandi che non sono. Questo apparente accrescimento del loro volume è prodotto dalla rifrazione che i raggi luminosi ricevono nell'emergere dall'acqua. Per rendere più chiara la cosa, ricorriamo all'esperimento della moneta lasciata in fondo ad un bacino: e rappresentino *mn* (*fig. 128*) la moneta, *pq* il livello dell'acqua, ed *o* il luogo occupato dall'occhio dell'osservatore. Se il bacino fosse stato vuoto, l'osservatore avrebbe veduta la moneta sotto l'angolo *mon*; ma la presenza del liquido fa

fig. 128.



che i raggi *ms* ed *nz* nell'emergere restino spezzati secondo le direzioni *so'* e *zo'*, dovendo nell'aria far colle normali d'incidenza angoli più grandi di quelli che vi facevano nel liquido. I due raggi dunque *ms* ed *nz* non potranno più raggiungere l'occhio dell'osservatore; ma lo potranno altri raggi, come *ms'* ed *nz'*, che si trovino meno inclinati alla superficie di livello. E se questi raggi, rifrangendosi secondo *s'o* e *z'o* raggiungono veramente l'occhio dell'osservatore, l'oggetto dovrà sembrare non solo più grande, ma più vicino ancora alla superficie di livello; imperocchè i raggi rifratti *s'o* ed *so'*, *z'o* e *zo'*, incontrandosi virtualmente, quelli in *m'* e questi in *n'*, la moneta dovrà vedersi in *m'n'*, ingrandita e fatta più vicina alla superficie del liquido. Per la stessa ragione avviene che il bastone, in parte immerso, sembra spezzato, e che il fondo di uno stagno, quando è visibile, apparisce meno basso di quel ch'è realmente.

Sappiamo che l'aria (n° 81) deve trovarsi più rara a misura che ci eleviamo sul livello del mare; ed in conseguenza un raggio di luce che penetri nella nostra atmosfera, incontrerà falde di aria di una densità crescente, e perciò sarà costretto a far angoli sempre più piccoli colle normali d'incidenza. E poichè continuo è il cangiamento nella densità dell'aria, continuo sarà il deviamento del raggio luminoso, e quindi il suo cammino si effettuirà secondo una curva, che dovrà volgere la sua concavità verso il suolo. Or se in un punto di questa curva il raggio luminoso incontri l'occhio dell'osservatore, questi crederà riceverlo nella direzione della tangente a quel punto della curva, e dovrà in conseguenza giudicare più elevata del vero la posizione dell'oggetto donde il raggio è partito.

Gli astri dunque debbono apparirci più elevati che non sono sul piano dell'orizzonte per effetto della rifrazione che i loro raggi patiscono nell'attraversare la nostra atmosfera, e che perciò si è denominata *rifrazione astronomica*. La quale è stata scoperta dal celebre astronomo greco Ipparco all'occasione, dicesi, di una eclissi lunare osservata mentre la luna ed il sole si mostravano alti sull'orizzonte di quanto è il loro diametro apparente. Si comprende bene che se tale realmente fosse stata la situazione dei due

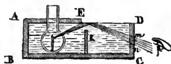
astri rispetto all'orizzonte dell'osservatore, l'eclisse sarebbe stata impossibile.

Nè degli astri soltanto, ma di ogni oggetto terrestre che si trovi più alto dell'occhio dell'osservatore, la rifrazione attraverso l'aria ne accresce apparentemente l'altezza.

Angolo limite. 128. Supponiamo che un raggio di luce debba passare dall'acqua nell'aria, vale a dire da un mezzo più rifrangente in un altro che lo è meno. Per la legge già nota (n° 126) l'angolo di rifrazione dovrà essere più grande di quello d'incidenza; e perciò quando il primo avesse toccato il suo limite, che è l'angolo retto, il secondo sarebbe tuttavia un angolo acuto. Or se l'angolo d'incidenza del raggio luminoso fosse più grande di quello che renderebbe retto l'angolo di rifrazione, è chiaro che il passaggio della luce dal primo al secondo mezzo sarebbe impossibile.

L'angolo d'incidenza che nel passaggio della luce da un mezzo più rifrangente in un altro che lo è meno, renderebbe retto l'angolo di rifrazione, si denomina *angolo limite*; e la Matematica dimostra che questo angolo deve avere per seno l'indice di rifrazione relativo al passaggio della luce dal mezzo più rifrangente nel meno rifrangente. Così

fig. 129.



essendo prossimamente $\frac{3}{4}$ l'indice di rifrazione relativo al moto della luce dall'acqua nell'aria, e l'angolo il cui seno è $\frac{3}{4}$, essendo di circa 48 gradi e 34 minuti, sotto ogni altra incidenza maggiore di questa i raggi luminosi non potrebbero passare dal primo mezzo nel secondo. E che realmente non passino lo prova un facile sperimento. ABCD (*fig. 129*) è una cassa di legno o di altra sostanza opaca, in parte chiusa superiormente dalla tavoletta AE. In questa porzione di coperchio sta scolpito un foro, per cui passa il collo di un piccolo matraccio di vetro, che in fondo porta un pezzo di candela accesa, così alta che quando la cassa sarà interamente piena di acqua, i raggi della fiamma non potranno incontrare la superficie libera ED del liquido sotto un angolo che non sia maggiore dell'an-

golo limite. Quando la cassa è vuota, l'osservatore può vedere la fiamma guardando per l'apertura ED, ma quando sarà piena di acqua sarà impossibile veder la fiamma comunque egli si faccia a spiare per lo spazio ED.

La luce che in simili casi non può oltrepassare la superficie di separazione di due mezzi, ne viene specularmente riflessa, e lo stesso apparecchio ce ne offre la prova. Sul lato CD della cassa sta un foro *mn* chiuso da una lastra di vetro; e perchè non vi giungesse direttamente la luce della fiamma, vi è interposto il setto *k*. Applicando l'occhio al foro e guardando un pò in alto, si vedrà l'immagine della fiamma riverberata dalla superficie dell'acqua come da forbitissimo specchio.

129. Sotto questo nome è conosciuto un fenomeno atmosferico che verso la metà della state ed ordinariamente nelle prime ore della mattina suol presentarsi sulle coste di Reggio in Calabria, e che consiste in veder disegnate nell'aria immagini di colonne, palagi, castella, e talvolta di uomini ed animali. **Fata Morgana.**

Qualche cosa di simile alla Fata Morgana si presentò ai soldati francesi nelle pianure del Basso Egitto, quando trafelati dal cammino e dal caldo, vedendo un lago in distanza, vi correvano per dissetarsi; e quel lago, realizzando sotto nuova forma la favola di Tantalo, si allontanava come essi si sforzavano di giungervi. Nè diverso da questo è il fenomeno che non di rado si osserva nel mar polare, di vedere cioè disegnate nell'aria immagini capovolte di navi che per lo più si trovano sotto l'orizzonte dell'osservatore. Così il capitano Scoresby, navigando nel mare di Groeland, in una simile immagine riconobbe una volta quella della nave comandata da suo padre, e che in quel momento non era visibile sul suo orizzonte.

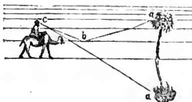
Qualunque sia la forma sotto cui si presentano fenomeni siffatti, che poi non sono proprii delle regioni in cui furono la prima volta osservati, la loro cagione sta sempre riposta o in una rifrazione atmosferica divenuta forte per cause locali sovente ignote, ovvero in una riflessione determinata da un'incidenza sotto l'angolo limite. Delle quali due cagioni sarà facile discernere la vera, qualora si ponga mente alla giacitura diritta o inversa in cui si presenterà l'immagine dell'oggetto. Così il fatto osservato

dal Dr Vince, e riferito da Pouillet nel suo Trattato di Fisica, evidentemente è stato prodotto da rifrazione atmosferica, chi sa come elevata a straordinaria forza; imperocchè vi si dice che da Ramsgate ove dimorava il Dottor Vince, non si possono vedere, a causa di un' interposta collina, se non le quattro più alte torri del castello di Douvres, ma che la sera del 6 agosto 1806 dal medesimo luogo si vide l'intero castello, quasi che per magia fosse stato sollevato sulla cresta di quella collina. È chiaro che questo fenomeno è perfettamente simile a quello che ci presenta il sole, quando lo vediamo elevato di tutto il suo disco sopra il nostro orizzonte, mentre in realtà ne sta sotto di altrettanto.

Sono poi effetti di riflessione dei raggi luminosi per incidenza di angolo limite quelle forme di Fata Morgana che si osservano nel basso Egitto e su i mari polari, e che i Francesi distinguono col nome di *miraggio* (mirage), perchè allora le falde inferiori o le superiori dell'aria riflettono la luce come se fossero divenute speculari.

La riflessione nel *miraggio egiziano* ha luogo negli strati atmosferici prossimi al suolo, imperocchè quando il sole riscalda fortemente quelle pianure e l'aria vi si trova in perfetta calma, quella che giace vicina alla superficie terrestre è riscaldata ed in conseguenza dilatata più dell'altra che le sta sopra; e perciò un raggio luminoso, diretto obbliquamente al suolo, incontrando falde di aria sempre più rarefatte, è continuamente allontanato dalla normale d'incidenza, e quindi costretto a descrivere un arco di curva *ab*, (*fig. 130*) che volga in basso la sua convessità. L'incidenza, che così va sempre crescendo, raggiungerà bentosto il suo limite in un certo punto *b*, ed allora la rifrazione mutata in riflessione farà che il raggio luminoso salga per l'arco *bc*; e se in un punto c

fig. 130.

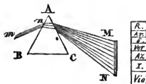


del suo arco ascendente il raggio incontri l'occhio dell'osservatore, questi lo riceverà come se venisse per la tangente $a'c$, e vedrà in a' un'immagine del punto a, quale l'avrebbe avuta se l'albero disegnato nella figura fosse stato circondato da un'acqua stagnante. E poichè bisogna una certa distanza tra l'oggetto e l'osservatore, perchè questi possa venir colpito dal raggio riflesso, così si comprende la ragione per cui quell'apparenza di lago sembri allontanarsi da coloro che cercano di giungervi.

Nelle regioni polari al contrario l'atmosfera è assai densa nelle falde prossime alla superficie del mare, e molto diradata in quelle che si trovano ad una certa altezza. Perciò l'angolo limite non s'incontra dai raggi luminosi discendenti, ma da quelli che obbliquamente muovono verso l'alto; in conseguenza la riflessione, perchè prodotta dalle falde aeree superiori, deve riprodurre in alto le immagini degli oggetti esistenti nelle basse regioni dell'atmosfera. In somma nel miraggio egiziano fanno da specchio le falde dell'aria prossima al suolo, e nel miraggio polare lo specchio sta viceversa nelle falde atmosferiche superiori.

130. Per una fenditura assai stretta ed orizzontale, scolpita nella parete rivolta al sole di una camera oscura, e coll'aiuto di uno specchio piano convenientemente situato al di fuori, si faccia penetrare nella camera una falda *mn* (*fig. 131*) di raggi solari, che vadano ad incontrare una delle facce di un prisma triangolare fatto di quel vetro che con voce tolta dalla lingua inglese è conosciuto sotto il nome di *flint*. Il prisma va messo cogli spigoli paralleli alla fenditura; e poichè supponiamo che l'osservatore lo guardi per la base, così lo figuriamo per mezzo del triangolo ABC, i cui lati rappresentano le tre facce del prisma vedute di profilo. **Prisma.**

fig. 131.



Considerando che i raggi solari non ci possono pervenire tra loro inclinati sotto un angolo che di molto su-

peri la metà di un grado, noi potremo riguardare la falda luminosa *mn*, fatta entrare nella camera oscura, come un fascio di raggi paralleli. I quali se fossero tutti egualmente rifrangibili, vale a dire se per tutti ad eguali angoli d'incidenza corrispondessero eguali angoli di rifrazione, come avviene dei saggi sonori, allora per direzioni parallele essi dovrebbero camminare attraverso il prisma e per altre direzioni ancora parallele dovrebbero emergere dalla faccia AC. Ma nel fatto la cosa è tutt'altra, imperocchè dal prisma i raggi emergono *dispersi*, ossia tra loro divergenti come i lati di un angolo il cui piano fosse perpendicolare agli spigoli del prisma; ed in vero ricevendoli sul setto MN parallelo al piano della fenditura, si trova che questa vi è disegnata sotto forma di un rettangolo che ha la stessa dimensione orizzontale dell'oggetto, ed una dimensione verticale che va crescendo a misura che il setto MN si pone più lontano dal prisma. Nè l'immagine ha il colore del setto che la riceve, come avviene quando la luce solare penetrando per un forellino in una camera oscura, dipinge sull'opposta parete un cerchietto luminoso: si mostra in vece (come sta indicato nel lato destro della figura) diviso in sette zone di diversa larghezza, le quali dall'alto in basso e con insensibile gradazione ci presentano i colori: *rosso*, *arancio*, *giallo*, *verde*, *azzurro*, *indaco e violetto* — I raggi del sole, in questo modo dispersi dall'azione di un prisma rifrangente, costituiscono il così detto *spettro solare.*

Dall'esistenza di questo spettro risulta evidentemente— 1° Che la luce del sole si compone di raggi inegualmente rifrangibili — 2° Che i raggi di diversa rifrangibilità sono ancora diversamente colorati — Lo spettro però non rappresenta che la sola parte visibile del fascio dei raggi dispersi dal prisma; imperocchè ponendo un termometro nello spazio immediatamente superiore al limite del rosso, vi si trova una temperatura più alta di quello dello spazio ambiente, ed una carta bagnata con soluzione di nitrato di argento vien presto annerita, qualora sia messa nello spazio che segue all'estremo violetto. Vi sono dunque raggi invisibili da una parte e dall'altra dei due confini dello spettro; quelli che stanno al disopra del rosso

svelano la loro presenza con un' azione termica, e quelli che stanno più bassi dell'estremo violetto si palesano per mezzo di un'azione chimica.

Sopra un cartone si scolpiscano due strette fenditure parallele, e vi si faccia cadere lo spettro solare in modo, che per una di esse vada una falda dei raggi rossi, e per l'altra una falda dei raggi gialli. Questi due fasci di raggi si facciano incontrare da una lente che li concentri nel suo fuoco; nel quale ponendo un pezzetto di carta vedremo ivi disegnarsi un cerchietto di colore arancio, perfettamente simile a quello che ne dà lo spettro. Ma se questi raggi, fusi nell'arancio focale della lente, si facciano cadere sopra un secondo prisma, n'emergeranno divisi in due fascetti, l'uno rosso e l'altro giallo; mentre l'arancio spettrale passando per un secondo prisma non patisce veruna suddivisione. I colori dello spettro son dunque elementari.

Ma questi elementi non compongono la sola luce del sole, imperocchè il prisma li ha scoperti in egual numero e nella stessa ragione in ogni luce bianca, qualunque siane la sorgente. E quando una luce non è bianca, il suo colore dipende o dalla varia dose in cui vi si trova qualcuno degli elementi spettrali, o dall'assoluta deficienza di uno o più di essi. Il giallo, a modo di esempio, di cui si colora la fiamma dell'alcool, al quale siasi aggiunto del sale comune, è puro come quello dello spettro; e perciò i chimici distinguono quella fiamma coll'aggiunto di *monocromatica*.

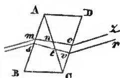
E dopo quel che finora abbiamo detto dei fenomeni cromatici del prisma, si comprende bene perchè debba esser fatto di sostanza, come per lo appunto è il flint, che non assorba uno degli elementi luminosi in una ragione diversa da quella in cui assorbe gli altri; imperocchè se così non fosse, la riunione degli elementi dello spettro non potrebbe ricomporre il bianco della luce solare; e se questa sintesi mancasse, non avremmo ragione per riguardare l'azione del prisma come un mezzo di analisi.

Ma perchè il mezzo analizzatore della luce vuol esser terminato da facce inclinate ad angolo, come sono quelle del prisma? -- È una dimanda che naturalmente deve farsi

chi considera che mentre una data luce è sciolta da un prisma nei suoi elementi, passa poi indecomposta attraverso un pezzo della medesima sostanza del prisma, ma terminato da facce piane parallele. Un matematico vi risponderebbe con due parole, ma noi che di Matematica ci siamo proposti di farne quasi che senza, dobbiamo limitarci a chiarire la semplice possibilità della cosa.

Immaginiamo che ai raggi *mn* ed *st* (*fig. 132*) l'uno dell'estremo rosso, l'altro dell'estremo violetto, già separati nel camminare pel prisma BAC, si opponga loro, mentre si fanno ad emergere dalla faccia AC, un secondo prisma ACD, eguale ed omogeneo al primo, ma collocato in situazione perfettamente inversa: avremo così un solo mezzo, terminato dalle facce piane parallele AB e BC. I raggi *mn* ed *st*, penetrando nel secondo prisma, dovranno muovere pei prolungamenti *no* e *tv* delle vie seguite nel primo; ma nell'emergere dalla faccia CD il raggio violetto *sv* più rifrangibile del raggio rosso *mo*, dovrà più che quest'ultimo esser deviato dal suo cammino, ed in conseguenza le rette divergenti *mo* ed *sv* potranno mutarsi in due parallele, *vr* ed *oz*. Or questo mutamento di direzioni divergenti in parallele, che qui troviamo semplicemente possibile, viene presentato dalla Matematica come necessaria conseguenza della legge di Cartesio: nè ciò soltanto, ma essa dimostra ancora che nel caso di mezzo terminato da facce piane parallele, i raggi emergenti debbono essere paralleli agl'incidenti. Donde poi segue che il luogo apparente di un oggetto veduto attraverso di un simile mezzo, non deve rimanerne deviato, mentre che guardato attraverso di un prisma ci comparisce rimosso dal suo sito, di quanto è l'angolo che il raggio incidente forma col prolungamento dell'emergente.

fig. 132.
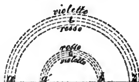


E sappiasi inoltre che volendo al prisma BAC addossarne un altro di diversa natura, la Matematica da certi dati sperimentali sa dedurre il valore che deve darsi al-

l'angolo rifrangente del nuovo prisma perchè la lucé emerga indecomposta dal sistema dei due prismi. E poichè di un simile sistema non si ha mai che la faccia di emergenza sia parallela a quella d'incidenza, così la luce che n'emerge, è nel tempo stesso indecomposta e deviata. Ad un siffatto sistema di prismi (ed anche di lenti, come in seguito diremo) si è dato il nome di *acromatico*. che vuol dire *senza colore*.

131. Questa meteora suol presentarsi allorchè trovandoci colle spalle rivolte al sole, abbiamo di fronte una nube che si scioglie in pioggia. Essa d'ordinario si compone di due archi concentrici (*fig. 133*) ornati di zone colorate come quelle dello spettro solare. Sull'arco interiore *acb* i colori del prisma stanno ordinati in modo che la zona violetta giace sul lato concavo dell'arco e la zona rossa sul lato convesso; sull'arco esteriore poi, che ha maggior larghezza del primo e tinte meno vivaci, i colori stanno distribuiti in ordine inverso, vale a dire che vi è il violetto fuori e dentro il rosso. Iride.

fig. 133.

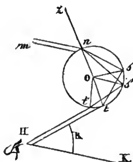


Per chiarire la cagione di questo fenomeno, facciamoci a considerare quel che deve avvenire ad un fascetto *mn* (*fig. 134*) di raggi solari che sotto l'incidenza *mnz* vanno ad incontrare una goccia di pioggia, rappresentata dal cerchio *nst*. Se i raggi del fascetto sono paralleli nell'incidenza, penetrando nella goccia diverranno divergenti, nè ciò faranno i soli raggi diversamente colorati, ma quelli ancora che hanno un medesimo colore, imperocchè la loro rifrangibilità va crescendo dall'alto in basso della zona da essi occupata. Quindi se il raggio *ns*, appartenente al limite superiore della zona rossa fa colla normale O*z* l'angolo O*ns*, un raggio che come *ns'* faccia parte di quelli che segnano il limite inferiore della stessa zona, dovrà fare colla medesima normale un angolo minore.

Un fascetto dunque di raggi rossi divergenti camminc-

rà per la goccia di acqua, ed incontrandone la superficie in ss', n'emergerà in parte, ed il resto verrà specularmente riflesso. Non ci occupiamo dei raggi rossi emersi, perchè essi non potrebbero far parte che di un' iride situata tra l' occhio dell' osservatore ed il sole, ed in conseguenza invisibile; occupiamoci in vece di quelli riverberati nell' interno stesso della goccia. Prendendo ad esempio i due raggi rossi ns ed ns', questi saranno riflessi secondo st ed $s't'$, di cui il primo, facendo colla normale ot un angolo più grande di quello che $s't'$ fa con ot', sarà rifratto nell'emergenza più fortemente del secondo; quindi i due raggi emergeranno meno divergenti di quel che prima erano, e la loro divergenza potrà venirne scemata di tanto da cangiarli in paralleli, e così renderli atti ad imprimere la sensazione del rosso sull' occhio dell' osservatore benchè lontano.

fig. 134.



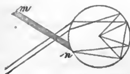
I matematici cercando se ciò fosse possibile, han trovato in vece che la cosa debba andare precisamente così, quando i raggi solari incontrano la goccia di pioggia sotto una certa incidenza. Essi hanno determinato ancora quale sia il valore dell'angolo R (*fig. 134*) che i raggi rossi, emergendo paralleli, faranno colla Hk, congiungente il centro del sole coll'occhio dell'osservatore; dimodochè immaginando che la retta Ht giri intorno alla Hk conservando costante l'angolo R, tutte le gocce di pioggia incontrate dalla Ht invieranno raggi rossi all'occhio dell' osservatore, e questi vedrà in conseguenza una zona circolare rossa, larga quanto il diametro apparente del sole e giacente in un piano perpendicolare alla Hk.

Rifacendo il calcolo pei raggi violetti, si è trovato ancora che essi debbono avere una certa incidenza sulla goccia di acqua per emergere paralleli dopo una riflessione

interna; che uscendo così faranno un certo angolo colla Hk; e che essendo questo angolo minore di quello che colla medesima retta fanno i raggi rossi, l'osservatore debba vedere una fascia circolare ornata di una zona rossa sul lato convesso, e di un'altra violetta sul lato concavo, con in mezzo i rimanenti colori dello spettro succedentisi nel loro ordine, ma in parte soprapposti l'uno all'altro, imperocchè l'ampiezza della fascia colorata non somma a 7 volte il diametro apparente del sole.

I matematici hanno studiato ancora l'andamento dei raggi che come quelli del fascetto *mn* (*fig. 135*) emergono dopo due riflessioni interiori, ed hanno trovato che questi raggi, soddisfacendo la condizione di emergere paralleli, debbono presentare all'osservatore un secondo arco circolare concentrico ed esterno al primo, e sul quale l'ordine dei colori sarà inverso, stante che la zona rossa dovrà trovarsi sul lato concavo dell'arco e la violetta sul convesso.

fig. 135.



Newton, misurando esattamente l'ampiezza angolare degli archi dell'iride, l'ha trovata coincidente coi numeri dati dal calcolo; dimodochè si è dovuto conchiudere che l'arco esteriore è realmente prodotto dai raggi solari che emergono paralleli dopo due riflessioni dentro le gocce della pioggia, e l'interno da quelli che han patita una sola riflessione.

Da tutte queste cose si rileva — 1° Che l'iride è un fenomeno di sito, vale a dire che ciascun osservatore vede la sua propria iride — 2° Che il piano dell'iride dovendo esser perpendicolare alla congiungente il centro del sole coll'occhio dell'osservatore, il fenomeno non può presentare un arco abbastanza lungo, se non quando il sole è prossimo all'orizzonte — 3° Che perdendosi della luce in ogni riflessione, le tinte sull'arco esteriore debbono necessariamente riuscire più deboli che sull'arco interiore.

132. Le zone colorate dello spettro solare, che non **Righe dello spettro.**

presentano veruna interruzione stante l'ordinario modo di osservarle, si veggono in vece intersecate da numerose linee o *righe* nere, quando messo il prisma innanzi alla lente obbiettiva di un cannocchiale, ci facciamo a guardare per mezzo dell'oculare l'immagine ingrandita dello spettro. Le righe furono scoperte da Wollaston nel 1802; più tardi Fraunhöfer ne numerava oltre a 600; ne distingueva otto come più notevoli, e le indicava colle lettere A, B, C, D, E, F, G, H. Delle quali otto righe A e B stanno nella zona rossa, C nel limite del rosso coll'arancio, B nel giallo, E nel verde, F nell'azzurro, G nell' indaco ed H nel violetto. Questa notazione del fisico alemanno è stata ricevuta nella scienza, a cui non poco giovamento ha recato somministrando dei punti di ritrovo nello studio dello spettro luminoso.

Le righe nere non appariscono nello spettro di ogni sorgente luminosa; si trovano soltanto nello spettro del sole, in quello dei pianeti e delle stelle. I corpi solidi o liquidi, divenuti luminosi, danno spettri continui non interrotti da veruna riga: i gas ed i vapori danno invece spettri a fondo oscuro tagliato da una o più righe lucide, il cui colore è vario a norma della speciale natura del corpo aeriforme.

Or queste linee colorate, che appariscono sempre le stesse qualunque sia la composizione chimica di cui il corpo faccia parte, son divenute un possente mezzo di analisi per opera dei due fisici alemanni, Kirchhoff e Bunsen. Per comprendere chiaramente l' efficacia di questa nuova maniera di analisi, oggi conosciuta sotto il nome di *analisi spettrale*, immaginiamo che di tutti i corpi semplici finora conosciuti, siasi esaminato lo spettro prendendo esatte note dei colori delle sue righe lucide e dei luoghi da esse occupati; e che poi gassificando un certo composto, si vedessero apparire delle righe lucide non ancora viste. Sarebbe questo un indizio certo che in quel composto si racchiude un nuovo elemento, e che basterebbe il paziente lavoro di separarlo dagli elementi a cui rimane congiunto, per poterlo esaminare nelle sue qualita fisiche e chimiche. Così dai summentovati fisici furono scoperti due nuovi metalli il *rubidio* ed il *cerio*; e così poi

ne sono stati scoperti degli altri ancora. Ed è tanta la squisitezza di questo nuovo mezzo di analisi, che per esso si potrebbe scoprire l'esistenza di un corpo, ancorchè nella fiamma che lo gassifica non se ne trovasse che qualche bilionesimo di grammo.

Ma di portata incomparabilmente più grande è l'applicazione che Kirchhoff ha fatto dell'analisi spettrale allo studio dei corpi celesti, applicazione che costituisce uno dei più grandi trovati del nostro secolo. Nessun fisico aveva saputo trovare una soddisfacente ragione delle righe nere dello spettro solare e di quelli delle stelle; i più si contentarono riguardarle come effetto della mancanza di raggi di una certa rifrangibilità in quelle sorgenti luminose, la qual cosa non era che una diversa espressione del fatto. Era stata intanto osservata la coincidenza delle linee lucide di qualche sostanza gassificata con alcune linee nere dello spettro solare, e più tardi si trovava ancora che le linee lucide esistenti nello spettro degli aeriformi, appariscono nere qualora l'occhio dell'osservatore riceva attraverso del loro spettro i raggi di una sorgente più luminosa. Da questi fatti non erasi tratta veruna conseguenza, quando Kirchhoff venne a dimostrare come da essi fatti risultasse esser il sole e le stelle composte di un nocciolo solido o liquido assai splendente, circondato da un'atmosfera meno luminosa, e nella quale debbono trovarsi gassificate tutte quelle sostanze terrestri le cui linee lucide si confondono colle righe nere dello spettro solare o stellare. Dimodochè l'osservatore oggi senza uscire dal suo gabinetto può, mercè quegli strumenti denominati *spettroscopii*, far l'analisi chimica delle atmosfere che circondano le innumerevoli sorgenti luminose, disseminate nell'immensità dello spazio celeste. E già distinti astronomi si son messi sulla via aperta alle loro indagini dalla scoverta del fisico alemanno, e già comincia ad esser copiosa la messe che se ne raccoglie; ma i cui particolari non possiamo qui esporre senza sorpassare i limiti che dalla natura di quest'opera ci vengono assegnati.

IV.

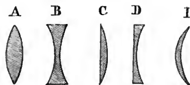
Effetti delle lenti.

Diverse specie di lenti — Lenti convergenti — Lenti divergenti — Centro ottico — Immagini prodotte dalle lenti — Errori di sfericità e rifrangibilità — Modo di correggerli.

Diverse specie di lenti. 133. Si dà il nome di *lente* ad un pezzo di cristallo, o di un corpo trasparente qualunque, che sia terminato da due facce curve, o da una faccia piana e l'altra curva. Questo nome deriva dalla simiglianza di forma che le prime lenti costruite ebbero coll'omonimo legume.

Le lenti si distinguono in *biconvesse*, *biconcave*, *pianoconvesse*, *pianoconcave*, *convessoconcave*. Tutte queste specie di lenti si trovano rappresentate in sezione nella (*fig.* *136*). In A si vede una lente biconvessa, B rappre-

fig. 136.



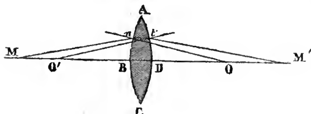
senta una lente biconcava, C è pianoconvessa, D pianoconcava, e convessoconcava. Le superficie curve, da cui le lenti son terminate, ordinariamente sono sferiche; e la retta che unisce i centri delle due superficie sferiche di una lente bicurva, o che dal centro dell'unica superficie sferica di una lente pianocurva vada perpendicolare sulla faccia piana di essa lente, questa retta si denomina *asse della lente*.

Talvolta si fa uso di *lenti cilindriche*, le quali non sono altra cosa che segmenti di un cilindro di cristallo, otte-

nuti con sezioni parallele all'asse del cilindro. Queste nuove lenti sono sempre pianoconvesse.

134. Le lenti biconvesse e pianoconvesse si dicono ancora *lenti convergenti*, perchè tendono a riunire i raggi che le attraversano. Rappresenti ABCD (*fig. 137*) la se- **Lenti convergenti.**

fig. 137.



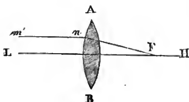
zione fatta sopra una lente biconvessa mercè un piano condotto per l'asse O'O della lente, supponendo che O' ed O sieno i centri delle superficie ADC ed ABC. Poniamo che sull'asse O'O si trovi il punto raggiante M, e facciamoci a considerare la via che dovrà percorrere il raggio Mn dopo aver incontrata la lente nel punto n. Per questo punto meniamo la normale On alla faccia ABC della lente (essendo i raggi di una sfera normali alla sua superficie), ed avremo che il raggio luminoso Mn, penetrando nel cristallo, che rifrange meglio dell'aria ambiente, dovrà farsi più vicino alla normale On, e camminare per una via che può essere indicata dalla nt: indi emergerà dalla lente pel punto t, e tornando nell'aria resterà vieppiù allontanato dalla normale O't. Supponendo che questo secondo deviamento sia così grande da far piegare il raggio luminoso verso un punto M' dell'asse, tutti i raggi che partono da M inclinati al medesimo asse di quanto lo è il raggio Mn, tutti dopo la rifrazione attraverso la lente dovranno riunirsi nello stesso punto M'. E se in vece i raggi luminosi partissero dal punto M' colla stessa inclinazione con cui a questo punto convergono, essi dopo

aver attraversata la lente, andrebbero a riunirsi in M. Perciò i punti M ed M', che si dicono *fuochi* perchè insieme alla luce vi si concentra il calore che l'accompagna, prendono l'aggiunto di *conjugati*.

Abbiamo detto qui sopra che dei raggi luminosi, i quali partono da un punto M dall'asse, quelli che gli sono egualmente inclinati, dovranno emergere in modo dalla lente che se uno di essi vada ad incontrar l'asse in un punto, tutti gli altri dovranno incontrarlo nello stesso punto. Or questa condizione è indispensabile per l'unità del fuoco conjugato, imperocchè i matematici dimostrano che quando il centro d'irradiazione, la lente e la loro distanza sono le stesse, il luogo del fuoco conjugato dipende dall'angolo che il raggio incidente forma coll'asse della lente. E perciò avviene che quando i raggi partiti da M ed accolti dalla lente emergono convergenti, essi sopra un piano che sia loro opposto non presentano giammai un punto luminoso, ma sempre un cerchio più o meno grande, e si riguardano come riuniti nel loro fuoco conjugato quando quel cerchio è divenuto minimo.

Passiamo ora a considerare come dovranno comportarsi i raggi che incontrano una lente convergente in direzioni parallele al suo asse; e sia *mn* (*fig. 138*) uno di essi raggi. Costruendo, coll'ajuto dei principii seguiti nella *fig. 137*, il cammino che il raggio *mn* farà e nell'attraversare la lente AB e nell'emergere da essa, troveremo che dopo l'ultima rifrazione il raggio dovrà incontrare l'asse LH in un punto F. Il luogo di questo punto varia secondo la distanza del raggio incidente dall'asse; e prendendo a norma quel punto in cui vanno ad unirsi i raggi che camminano prossimi all'asse, avremo il *fuoco principale* della lente. Il quale giova che sia conosciuto, e l'espe-

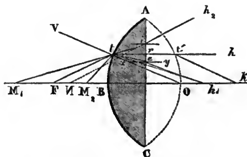
fig. 138.



rienza può definirlo nel seguente modo. Si copra, incollandovi della carta, una delle facce della lente, e la copertura si tolga in due punti prossimi all'asse e che ne siano egualmente lontani. Ciò fatto, si esponga la lente ai raggi solari in modo da esserne incontrata parallelamente all'asse, ed i fascetti luminosi che passeranno per quei due punti scoperti, si ricevano sopra un cartone od un vetro spulito, che si scosterà più o meno dalla lente finchè non li vedremo coincidere in un solo cerchietto luminoso: allora la distanza del cartone dalla lente pareggerà quella del suo fuoco principale.

E se viceversa il punto luminoso giacesse nel fuoco principale F della lente AC (*fig. 139*) che per maggior

fig. 139.



semplicità supponiamo pianoconvessa, è chiaro che il raggio F*t*, quando sia prossimo all'asse FO dovrà emergere secondo la *rh* al medesimo parallela, vale a dire secondo una normale alla faccia piana della lente. Ma per emergere normale a questa faccia, ha dovuto esserle normale nell' incidenza ancora, ossia che nell' interno della lente il raggio rifratto ha dovuto camminare secondo la *tr* parallela all'asse.

Poniamo in secondo luogo che il centro luminoso sia in M_1, punto lontano dalla lente più che il fuoco principale. In questo caso il raggio M_1t farà colla normale OV

un angolo più piccolo di quello che faceva il raggio Ft, ed in conseguenza minore ancora dovrà essere l'angolo di rifrazione. Perciò se il raggio Ft rifrangendosi ha dovuto prendere la direzione tr parallela all'asse, quello che risulterà dalla rifrazione di M_1t, dovrà camminare per una certa via te inclinata allo stesso asse; e poichè quest'ultimo raggio nell'emergere dalla lente dovrà vieppiù scostarsi dalla normale xy, così l'asse ne verrà necessariame te incontrato in un punto h_1.

Poniamo in fine che la sorgente luminosa si trovi in un punto M_2 la cui distanza dalla lente sia minore di quella del fuoco principale. Il raggio luminoso M_2t incontrerà la lente sotto un'incidenza maggiore di quella del raggio Ft; più grande ancora ne sarà l'angolo di rifrazione; e perciò se il raggio Ft si è rifratto secondo la tr parallela all'asse, il raggio M_2t dovrà rifrangersi secondo una linea ti divergente dal medesimo asse, e più divergente ancora dovrà essere la linea ih_2 che seguirà nella sua emergenza. Or se pel verso opposto al suo cammino prolunghiamo il raggio h_2i fino ad incontrar l'asse in un punto N, questo punto sarà il *fuoco conjugato virtuale* del punto M_2, come h_1 è il *fuoco conjugato reale* del punto M_1.

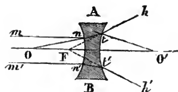
Dalle quali considerazioni si rileva che i raggi partiti da un punto situato sull'asse di una lente piano-convessa, n'emergeranno convergenti, paralleli o divergenti, secondo che la distanza del punto luminoso dalla lente sarà maggiore, eguale o minore di quella del suo fuoco principale. La stessa regola vale ancora per le lenti biconvesse, ma non potremmo dimostrarla senza giovarci di alcune cognizioni matematiche che la natura di quest'opera non può supporre.

Ma prima di lasciare l'argomento delle lenti convergenti, denominate ancora *lenti ustorie* pel concentramento di calore che producono nel loro fuoco, vogliamo far osservare come a parità di curvatura delle loro superficie le lenti biconvesse facciano convergere i raggi luminosi meglio che le pianoconvesse. Ed in vero se alla lente pianoconvessa ABC (*fig. 139*) aggiungessimo la AB'C, avremmo una lente biconvessa; ed il raggio rh che dalla ABC usciva parallelo all'asse, nel punto di emersione t' dalla nuova lente

sarebbe costretto a scostarsi maggiormente dalla normale $t'u$ e correre per una via $t'k$ convergente all'asse. E nella stessa ipotesi di un'egual curvatura di superficie i matematici dimostrano che la distanza focale principale di una lente biconvessa è metà di quella di una lente pianoconvessa.

135. Rappresenti AB (*fig. 140*) la sezione fatta sopra una lente biconcava mercè un piano condotto per la con- **Lenti divergenti.**

fig. 140.



giungente i centri di curvatura O ed O' delle due facce della lente, e poniamo che questa nel piano di sezione sia incontrata dal raggio luminoso *mn* parallelo alla detta congiungente. Questo raggio dovendo andare più vicino alla normale O*n* nel passare dall' aria nel vetro, si spezzerà come indica la retta *nt*; e quando si farà ad emergere dalla lente, sarà costretto a scostarsi maggiormente dalla normale O'*t*, e prendere una via conforme alla *th*. Un secondo raggio *m'n'*, parallelo ed *mn* ed egualmente distante dall' asse OO', dovrà camminare per la linea spezzata *n't'h'* simmetrica ad *nth*, e così i due raggi, paralleli nell'incidenza, ne usciranno divergenti per effetto di due rifrazioni. E sarebbero usciti più divergenti ancora, se fossero partiti da un punto luminoso situato sull'asse della lente.

Prolungando per opposte vie i raggi emersi *th* e *t'h'*, essi andranno ad incontrarsi in un punto F dell'asse; punto che *virtualmente* segnerà il fuoco principale della lente AB, qualora i raggi *mn* ed *m'n'* siano prossimi alla OO'.

Per sola grandezza gli effetti di una lente pianoconca-

va differiscono da quella di una lente biconcava. Perciò queste due lenti vanno sotto la comune denominazione di *lenti divergenti*.

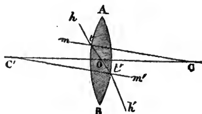
Il *menisco* poi, ossia la lente convessoconcava, sarà una lente convergente o divergente, secondo che la curvatura della faccia convessa sarà maggiore o minore di quella della faccia concava.

Centro ottico. 136. In tutto ciò che finora abbiamo detto sull'azione delle lenti, si è sempre supposto che il centro luminoso giacesse sull'asse della lente, anche ponendo il caso di raggi paralleli all'asse, imperocchè questa ipotesi equivale all'altra di un punto giacente sull'asse ad una distanza infinita dalla lente.

Or l'asse geometrico di una lente, ossia la retta che unisce i centri di curvatura delle sue facce, è ancora *asse ottico*, vale a dire una retta per la quale cadendo un raggio luminoso sopra una lente, n'emerge per la stessa via; la qual cosa risulta immediatamente dalla legge di Cartesio (n° 126). Ma l'asse geometrico non è la sola retta che gode di questa proprietà.

Ed in vero, sieno C e C′ (*fig. 141*) i centri di curva-

fig. 141.



tura delle due facce della lente AB; per essi meniamo le due normali parallele Cm, $C'm'$; e supponiamo che un raggio luminoso attraversi la lente secondo la congiungente i punti d'incontro t' e t delle sue facce colle suddette normali. Le quali essendo parallele, ci daranno l'angolo Ctt'

eguale all'angolo $C't't$; e se questi due angoli sono eguali, la legge di Cartesio richiederà che l'angolo d'incidenza $h't'm'$ sia ancora eguale all'angolo di emergenza htm; vale a dire che sia th parallelo ad $h't'$. Questo raggio dunque nell'attraversare la lente AB non avrà patito altra cosa che quella di trovarsi spostato parallelamente a sè stesso; spostamento reso trascurabile dalla piccola spessezza della lente, dimodochè potremo dire che il raggio incidente $h't'$ uscirà indeviato dalla lente AB, e che in conseguenza la sua direzione sarà quella di un asse ottico.

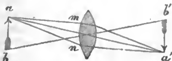
Asse ottico di una lente è dunque ogni retta che attraversandola ne incontra le facce in punti, le cui normali son parallele. Una lente ha dunque infiniti assi ottici: e la Geometria dimostra che tutti s'incontrano in un medesimo punto, che si denomina *centro ottico*. Questo punto si confonderà col centro di figura della lente, qualora sia questa biconvessa o biconcava, ed abbia le sue facce egualmente curve; e se la lente sia pianoconvessa o pianoconcava, il suo centro ottico starà nell'intersezione dell'asse colla faccia curva.

Or la Geometria dimostra che tutti i risultamenti ottenuti nell'ipotesi che il punto raggiante si trovi sull'asse di una lente a distanza finita od infinita, reggono ancora rispetto alla retta che unisse il centro ottico di una lente con un punto raggiante ovunque situato.

Immagini prodotte dalle lenti.

137. Poniamo innanzi ad una lente convergente un oggetto ab (*fig. 142*) a distanza maggiore di quella del suo fuoco principale, ed immaginiamo condotti pei punti a e b gli assi ottici aa', bb'. Per le cose dette nei n.[i] precedenti avremo che i raggi luminosi am ed an, che muovono dal punto a egualmente inclinati all'asse, dovranno emergere convergenti ad un punto a' del medesimo asse ed ivi riprodurre un'immagine del punto a. Similmente i raggi partiti da b avranno un fuoco conjugato in b', e così in $a'b'$ si troverà riprodotta un'imma-

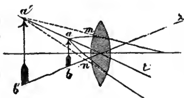
fig. 142.



gine capovolta dell'oggetto *ab*. Ponendo in una stanza buia una lente convergente avanti la fiamma di una candela, si vedrà sull'opposta parete un circolo nero con in mezzo l'immagine capovolta della fiamma; ed allora si potrà osservare che in conformità della teoria matematica delle lenti, l'immagine diverrà più grande o più piccola, secondo che la fiamma si farà più vicina o più lontana dal fuoco principale della lente.

Poniamo ora che l'oggetto *ab* (*fig. 143*) sia posto tra una lente convergente ed il suo fuoco principale. Condotti gli assi ottici *at* e *bz*, i raggi *am* e *an*, che partono dal punto *a*, dovranno emergere divergenti dall'asse *at*, ed avranno in conseguenza un fuoco virtuale in *a'*; e similmente quelli che partono da *b* l'avranno in *b'*. Quindi l'occhio dell'osservatore riceverà i raggi emersi dalla lente come se fossero partiti dai punti *a'* e *b'*, e perciò vedrà in *a'b'* un'immagine diritta ed ingrandita dell'oggetto *ab*. Donde deriva che le lenti convergenti vengono ancora denominate *lenti d'ingrandimento*.

fig. 143.



I raggi che dai diversi punti di un oggetto muovono verso la pupilla dell'occhio di un'osservatore, di necessità vi arrivano divergenti; e soltanto per effetto delle rifrazioni che patiscono dentro l'occhio, essi possono riunirsi sulla *retina* (membrana nervosa che ne giace in fondo) ed ivi dipingere l'immagine dell'oggetto. Ma se gli umori dell'occhio non fossero abbastanza rifrangenti, allora bisognerebbe che l'oggetto oltre l'usato fosse allontanato dall'occhio, perchè i raggi arrivandovi meno divergenti, potessero avere sulla retina i loro fuochi conjugati. Quindi si comprende come usando d'occhiali armati di lenti convergenti si possa correggere questo difetto, denominato *presbiopia*, parola che suona *vista di vecchio*, appunto perchè i vecchi ne sogliono essere affetti.

Ma se l'occhio nei vecchi manca quasi sempre della forza rifrangente necessaria a ricongiungere sulla retina i raggi partiti da piccoli oggetti, distanti un dieci pollici dalla pupilla, nei giovini al contrario si trova talvolta di averne troppa. Da ciò la *miopia*, che vuol dire *vista di topo*, ritenendo che questo animale non possa veder bene se non gli oggetti assai vicini. A questo difetto si rimedia coll'uso delle lenti divergenti, le quali se in omonime direzioni rispetto all'asse fanno emergere i raggi che nell'incidenza gli erano paralleli (n° 136), tanto più ne faranno allontanare quelli che nell'incidenza già ne divergono.

138. Nel n° 135 abbiamo accennato all'impossibilità di far convergere ad un solo fuoco conjugato i raggi, che partiti da un punto luminoso, cadono sopra una lente biconvessa o pianoconvessa. Or è facile comprendere come la moltiplicità dei fuochi pei singoli punti di un oggetto debba farne riuscire alterata l'immagine, reale o virtuale che sia. A quest'alterazione si è dato il nome di *errore di sfericità*, perchè prodotta dall'essere sferiche le superficie delle lenti. **Errori di sfericità e rifrangibilità. Modo di correggerli.**

Di un altro errore è poi cagione la diversa rifrangibilità degli elementi luminosi che costituiscono la luce incidente, e che perciò si denomina *errore di rifrangibilità*. È noto (n° 131) che gli elementi della luce bianca hanno una rifrangibilità crescente dal rosso al violetto; quindi i fuochi conjugati di questi elementi debbono trovarsi a diverse distanze dalla lente, e perciò raccogliendo la luce emersa sopra un piano perpendicolare all'asse e che supponiamo condotto pel fuoco dei raggi rossi, quelli di color violetto, indaco ecc. perchè si saranno già incontrati nei rispettivi fuochi, muoveranno divergenti verso quel piano e vi disegneranno un cerchio terminato da zone iridate. Così l'immagine per opera della lente si troverà ornata di colori che non esistono nell'oggetto.

All'errore di sfericità si rimedia con appositi diaframmi, i quali impediscono ai raggi che cadono prossimi all'orlo della lente, di prender parte nella produzione dell'immagine; e si evita poi quello di rifrangibilità mercè l'uso delle *lenti acromatiche*. Le quali (*fig. 144*) si com-

pongono di una lente biconvessa di quella specie di vetro denominato *crown-glass*, che si combacia esattamente con una lente concavoconvessa di *flint-glass*, resa divergente dalla maggiore curvatura della sua faccia concava: la 1ª delle due lenti è rappresentata nella *fig.* da A, la seconda da B. Perchè poi le due lenti, che compongono l'acromatica, debbano andar ordinate nel modo suddetto, e perchè così facendole la luce n'emerga deviata ma non dispersa; tutto ciò rimane chiarito da calcoli algebrici che qui non possono aver luogo.

fig. 145.



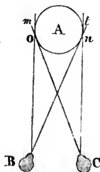
V.

Strumenti ottici.

Steroscopio — Microscopio semplice e composto — Microscopio solare — Cannocchiale di Galilei — Cannocchiale astronomico — Cannocchiale terrestre — Telescopii per riflessione.

Steroscopio. 139. Coi due occhi vediamo due immagini alquanto diverse di un medesimo oggetto. Così della palla A (*fig. 145*) l'occhio sinistro B vede la porzione di superficie definita dall'arco *mon* chiuso trà le due tangenti menate alla palla dal centro della pupilla, e l'occhio destro C ne vede la porzione di superficie corrispondente all'arco *ont* similmente definito. Non vogliamo qui esaminare come da queste due immagini che rappresentano parti della superficie della palla sorga in noi l'idea della sua solidità; ma solamente diciamo che se l'arte sapesse riprodurre le immagini di un oggetto quali si dipingono nei due occhi, e presentarcele in gran parte soprapposte,

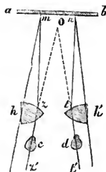
fig. 145.



quali realmente ci appariscono, noi dovremmo vedere un solido. Ed ecco quel che difatto avviene guardando nello *steroscopio*, strumento inventato da Wheatstone.

Supponiamo che sopra una tavoletta *ab* (*fig. 146*) che immaginiamo perpendicolare al piano della figura, sieno disegnate (come la fotografia sa fare) le due immagini di un oggetto quali apparirebbero agli occhi di un osservatore; e sieno *m* ed *n* due punti che nelle immagini disegnate corrispondono ad un medesimo punto della superficie dell'oggetto. Supponiamo inoltre che una lente convergente sia divisa in due metà con una sezione fatta secondo l'asse, e che le due metà *h* ed *h'* siano fermate l'una accanto all'altra in distanza da *ab* quanto è quella del fuoco principale. Congiunti i punti *m* ed *n* coi luoghi occupati dal centro ottico sulle due facce della sezione, i raggi luminosi *mz* ed *nt* partiti dai punti *m* ed *n*, emergeranno dalle due metà della lente secondo le direzioni *zz'* e *tt'* rispettivamente parallele alle suddette congiungenti; ed incontrando gli occhi dell'osservatore in *c* e *d*, vi agiranno come se venissero dal loro punto d'incontro *o*. Dicasi altrettanto dei rimanenti punti delle due immagini, e si comprenderà come l'osservatore in vece di esse vegga un solido nello spazio.

fig. 146.

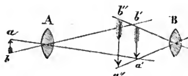


140. Il microscopio semplice non è che una lente biconvessa, mercè la quale (nº 138) ci procuriamo un'immagine virtuale ed ingrandita di un piccolo oggetto, situandolo tra la lente ed il suo fuoco principale. **Microscopio semplice e composto.**

Ma da una simile lente possiamo avere ancora un'immagine reale ed ingrandita, qualora l'oggetto si tenga lontano dalla lente alquanto di più che il suo fuoco principale. Poniamo, ad esempio, che *ab* (*fig. 147*) sia l'oggetto ed A la lente che ne disti un poco più che il suo fuoco principale; nel fuoco conjugato di *ab* se ne avrà

l'immagine reale $b'a'$. ingrandita e capovolta. E dalla considerazione che questa immagine debba riuscire infinita

fig. 147.



qualora l'oggetto si trovi nel fuoco principale della lente, sembra doversi dedurre che avvicinando sempre più l'oggetto a quel fuoco l'ingrandimento dell'immagine non abbia a trovar limiti. E pur la cosa non va così, imperocchè è tanta la diminuzione di energia che la luce inviata dall'oggetto soffre nello spandersi sulla maggior superficie dell' immagine, che questa ne riesce bentosto invisibile.

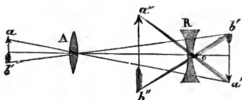
Or se ci facciamo a guardare l'immagine $b'a'$ per mezzo della lente B che l'è più vicina che il fuoco principale, la vedremo fatta più grande nell'immagine virtuale $b''a''$. Il sistema delle due lenti A e B, chiuso in un tubo, costituisce il *microscopio composto*; la lente A si denomina *lente obbiettiva*, e B è la *lente oculare*. Gli spedienti poi escogitati per accrescere l'illuminazione dell'oggetto e dai quali ha preso origine il *microscopio solare*, così denominato perchè sull'oggetto va concentrata la luce diretta del sole; quelli che si sono adoperati per impedire l'iridazione dell' immagine veduta, ed in fine l' ordinamento dato al sostegno del tubo a maggiore comodità dell' osservazione; di tutte queste cose nulla potremmo dire, senza oltrepassare i limiti che ci siamo imposti.

Cannocchiale di Galilei. 141. Nel 1609 si era diffusa in Venezia la nuova che in Fiandra fosse stato presentato al Conte Maurizio di Nassau un istrumento che faceva vedere gli oggetti lontani come se fossero assai vicini. In una gita fattavi nel Maggio di quell'anno Galilei seppe tal nuova, e tosto che

fu ritornato a Padova gli bastò una notte a meditarvi sopra, perchè nel dimani fosse già costrutto il cannocchiale che porta il suo nome.

Questo cannocchiale si compone (*fig. 148*) di una lente

fig. 148.

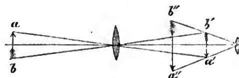


obbiettiva A, la quale è convergente, e di un'oculare divergente B. Dell'oggetto *ab*, che si suppone lontanissimo, si avrebbe un'immagine *b'a'* reale e capovolta nel fuoco principale della lente A, se l'interposizione della lente biconcava B non facesse uscire divergenti i raggi che sarebbero andati a riunirsi nei fuochi *b'* ed *a'*. Quindi l'occhio dell'osservatore li riceverà come se venissero dai loro fuochi virtuali *b''* ed *a''*, ed ivi vedrà un'immagine diritta ed ingrandita dell'oggetto.

L'ingrandimento che si ottiene con questo cannocchiale, è dato dal rapporto dell'angolo *b'oa'* sotto cui l'oggetto è visto mercè l'oculare, all'angolo *a'zb'* sotto il quale si sarebbe veduto dal centro dell'obbiettiva. Ma l'azione divergente dell'oculare, per la quale van perduti molti dei raggi che si sarebbero raccolti nel fuoco dell'obbiettiva, fa che nel cannocchiale, di cui parliamo, non si possa avere un forte ingrandimento senza grave perdita di chiarezza nell'immagine. Perciò l'uso dell'istrumento si è limitato a farne occhialini per teatro, specialmente dopo che Frate Cherubino da Orléans insegnò a comporne binocoli. Ciò non ostante il cannocchiale di Galilei per opera dello stesso inventore fè ricca l'Astronomia di tre capitali scoperti, le macchie cioè del Sole, le fasi di Venere, ed i satelliti di Giove.

Cannocchiale astronomico. 142. All'oculare divergente del cannocchiale di Galilei, Keplero sostituì una lente convergente (*fig. 149*) la quale

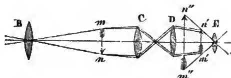
fig. 149.



se lascia capovolta l'immagine $a''b''$ veduta dall'osservatore, ha però concesso che l'ingrandimento acquistasse quelle proporzioni che si ammirano nei grandi rifrattori ultimamente costruiti. L'istrumento pertanto n'è divenuto più lungo, nè gli si può dare molta forza senza dargli molta lunghezza ed una lente obbiettiva proporzionatamente ampia. Per non servirsi di un tubo assai lungo, Huyghens compose il *cannocchiale aereo*, nel quale l'oculare e l'obbiettiva stavano in due tubi separati; e con questo cannocchiale scoprì l'anello di Saturno, che Galilei per la poca forza del suo strumento non aveva veduto che sotto forma di due corpi addossati al pianeta principale.

Cannocchiale terrestre. 143. Al cannocchiale di Keplero si è dato l'aggiunto *di astronomico*, perchè l'istrumento è buono ad osservar gli

fig. 150.



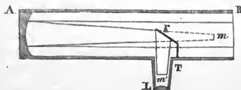
astri, le cui immagini non dispiace all'occhio di veder capovolte. Ma non avverrebbe lo stesso rispetto agli oggetti terrestri, la cui vera giacitura è familiare al nostro sguar-

do; e da ciò l'origine del *cannocchiale terrestre* che il P. Rheita inventò aggiungendo due nuove lenti al cannocchiale astronomico, le quali servono a raddrizzare l'immagine prodotta dall'obbiettiva, prima che l' oculare venga ad ingrandirla. Delle due lenti aggiunte l'una C (*fig. 150*) trovasi distante del suo fuoco principale dall'immagine capovolta *mn* prodotta dall'obbiettiva B; quindi i raggi provvenienti dall' immagine emergono da C in fascetti paralleli, che dopo essersi incrociati incontrano la lente D, la quale li riunisce nel fuoco principale e produce l' immagine diritta *m'n'*, che verrà poi ingrandita dall'oculare E.

144. Nel cannocchiale astronomico l'obbiettiva non fa, per così dire, che trasportare l'oggetto col suo diametro angolare dentro il tubo dell'istrumento, affinchè l'oculare ce lo facesse vedere ingrandito. Uno specchio curvo sa trasportarlo ancora nel suo fuoco principale. e da ciò è venuta una nuova forma di cannocchiali, in cui all'ordinaria obbiettiva è sostituito uno specchio curvo di metallo. Questi cannocchiali per riflessione hanno ricevuto il nome di *telescopii*, che potrebbe servire ancora per quelli a rifrazione, imperocchè la parola non significa che *veder da lontano*. Telescopii.

Gregory in Inghilterra e Cassegrain in Francia avevano

fig. 151.



ideato speciali forme di telescopii, quando Newton ne costruiva uno di sua invenzione. Questo telescopio si componeva di un tubo AB (*fig. 151*) in fondo al quale si trovava uno specchio concavo, che avrebbe prodotto nel suo fuoco

principale l'immagine *m* dell'oggetto lontano, che gli stava di fronte, se i raggi per una nuova riflessione sullo specchietto piano *k* non fossero stati diretti nel tubo laterale T, per ivi comporre in *m'* la stessa immagine *m*, che veniva poi ingrandita dall'oculare L.

La necessità di dover guardare in direzione perpendicolare ai raggi inviati dall'oggetto sullo specchio, rendeva malagevole l'uso dell'istrumento, e perciò venne abbandonato. Ma i perfezionamenti recativi a giorni nostri da Foucault in Francia, e de' quali non vuol esser taciuto quello di aver sostituito uno specchio concavo di vetro coperto di sottilissima foglia di argento all'antico specchio di metallo, hanno fatto ritornare in uso il telescopio newtoniano.

Tra i grandi telescopii costrutti a tempi nostri vanno specialmente ricordati quello del celebre astronomo Herschell, e l'altro di Lord Ross. Il telescopio di Herschell è lungo 40 piedi, e largo intorno a 5; il solo specchio pesa più che 1000 chilogrammi. Questo enorme telescopio oggi sta chiuso in una specie di mausoleo fattogli costruire dal figlio del grande astronomo, celebre anch'esso nella scienza degli astri.

Più grande ancora e più perfetto è il telescopio posteriormente costrutto da lord Ross in Irlanda. Il tubo di questo prodigioso strumento è lungo 55 piedi e pesa 6604 chilogrammi; lo specchio concavo, lavoro stupendo dello stesso nobile lord, pesa 3809 chilogrammi. È tanta la perfezione di questo specchio e l'ingrandimento di cui è suscettibile l'immagine prodotta, che dirigendo l'istrumento verso la Luna, vi si potrebbero scorgere, se mai esistessero, delle città e dei monumenti di arte, grandi come il tempio di S. Pietro e le piramidi di Egitto: gli oggetti che presentano molta lunghezza, come fiumi, canali, strade, piantaggioni regolari, vi si vedrebbero ancor meglio. In somma è più facile esplorare la superficie della Luna mercè il telescopio di lord Ross, che la superficie della terra ad occhio nudo.

IV.

Doppia rifrazione.

Raggi ordinarii e straordinarii — Rifrazione nel piano della sezione principale — Rifrazione in un piano normale all'asse — Rifrazione secondo l'asse — Idea della polarizzazione.

145. Sull'imposta di una finestra colpita dai raggi solari si faccia un foro, perchè questi v'entrino, poi si chiuda il foro applicandovi una lamina di vetro a facce piane e parallele. Si faccia girare la lamina strisciando sul piano del foro, e si vedrà che il cerchietto luminoso dipinto sopra un piano opposto al cammino dei raggi, rimarrà immobile nella breve durata della rotazione della lamina, come avrebbe fatto se la lamina non ci fosse stata. Raggi ordinarii e straordinarii.

Ma se chiudiamo il foro applicandovi una delle facce di un cristallo di spato islandico, in vece di un cerchietto luminoso ne vedremo due; la qual cosa dimostra che i raggi solari attraversando il cristallo si son divisi in due fasci, ciascuno dei quali ha preso la sua via, vale a dire che l'uno dei due si è rifratto in un modo diverso da quello in cui si è rifratto l'altro. Da ciò il nome di *doppia rifrazione* dato a questo fenomeno, scoperto nel 1669 nello spato islandico da Erasmo Bartolino, e che poi si è trovato esser comune a molti cristalli minerali; e da questa duplice rifrazione poi deriva che gli oggetti guardati attraverso di simili cristalli ci presentino due immagini.

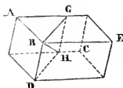
Tenendo fermo il cristallo sul foro, i due cerchietti luminosi non patiranno altro spostamento, se non quello lentamente prodotto dal moto apparente del Sole. Ma se faremo girare il cristallo sul piano del foro, come avremo fatto girare la lamina di vetro, vedremo uno soltanto dei cerchietti rimanersi immobile e l'altro girargli attorno. I raggi che durante la breve rotazione del cristallo hanno prodotto il cerchietto immobile, si saranno rifratti come facevano nell'attraversare la lamina di vetro, vale a dire ubbidendo alla legge cartesiana (n° 126); ma quelli da cui

è risultato il cerchietto girante, è certo che non l'hanno soddisfatta. Perciò ai primi si è dato l'aggiunto di *ordinarii* ed ai secondi quello di *straordinarii*.

Rifrazione nel piano della sezione principale.

146. Continuando a prendere come esempio lo spato islandico, osserviamo che la sua figura è definita da sei parallelogrammi obbliqui, di cui gli opposti sono eguali; e che nel romboedro così formato vi sono due angoli solidi opposti, B e C (*fig. 152*), ciascuno dei quali è fatto da tre angoli piani ottusi. Or menando per uno spigolo di uno degli angoli solidi B e C, e sia per lo spigolo BD dell'angolo solido B, un piano che bisechi l'opposto angolo ABE, la sezione che ne risulta, prende il nome di *sezione principale*, e la bisettrice BH dell'angolo DBG si denomina *asse* del cristallo. E poichè un cristallo di spato può essere meccanicamente suddiviso in altri minori, così è chiaro che ogni sezione fatta con piano parallelo a DBGH sarà sezione principale, ed ogni retta menata parallela a BH sarà un asse.

fig. 152.



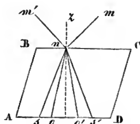
Premesse queste definizioni, giova ancora ricordare che la legge di Cartesio (nº 126) consta di due parti — 1ª Che il raggio incidente ed il raggio rifratto debbono giacere in un piano normale alla superficie rifrangente — 2ª Che tra il seno d'incidenza e quello di rifrazione vi debba essere un rapporto costante per due dati mezzi.

Or nell'esperimento (nº 145) dello spato girante sul foro il piano d'incidenza dei raggi rimane costante nella breve durata dell'esperimento, ed in conseguenza se i raggi straordinarii avessero ubbidito alla 1ª parte della legge cartesiana, il cerchietto luminoso da essi prodotto non avrebbe dovuto girare intorno a quello dovuto ai raggi ordinarii.

Evvi però un piano d'incidenza nel quale anche i raggi straordinarii rendono soddisfatta la 1ª parte della suddetta legge, e questo piano è quello della sezione principale, imperocchè si osserva che quando il piano di questa sezione diventa piano d'incidenza, vi stanno compresi tanto

i raggi ordinarii che gli straordinarii, come si può verificare soprapponendo un cristallo di spato sopra una retta segnata su di un pezzo di carta. Ma la 2ª parte della legge non vi è soddisfatta, perciocchè se il fascetto incidente va diretto come la *mn* (*fig.* 153), si troverà che il fascetto straordinario *ns* più che l'ordinario *no* si avvicina all'angolo acuto A della sezione principale ABOD, e che lo stesso avviene di *ns'* rispetto ad *no'*, quando il fascetto incidente, come *m'n*, si trova nell'opposto lato della normale *zn*. Vi sono però cristalli, in cui la rispettiva giacitura delle due specie di raggi nella sezione principale è diametralmente opposta a quella che ha luogo nello spato islandico ed in altri cristalli.

fig. 153.



147. Se tagliamo un cristallo di spato facendovi tre sezioni parallele all'asse ed inclinate tra loro, ne avremo un prisma triangolare con facce parallele all'asse del cristallo. Or se in un piano perpendicolare agli spigoli di questo prisma cada sopra una delle sue facce un pennello di raggi solari, questo verrà diviso in due pennelli che entrambi renderanno interamente soddisfatta la legge cartesiana. Essi dunque sono tutti due *ordinarii*; ma i fisici hanno ritenuto questo nome per quello dei due che lo sarebbe stato in ogni altro piano d'incidenza, ed hanno continuato a chiamare *straordinario* l'altro quantunque più non lo fosse. Rifrazione in un piano perpendicolare all'asse.

148. Facendo sopra un cristallo di spato due sezioni perpendicolari all'asse e sopra una di esse lasciando cadere normalmente un fascetto di raggi luminosi, lo si vedrà uscire indiviso dalla faccia dell'altra sezione. Ciò per altro non significa che la doppia rifrazione non sia avvenuta, imperocchè alcuni fatti, di cui qui non possiamo discorrere, ci fanno conoscere che quando la rifrazione ha luogo secondo l'asse, allora i due pennelli luminosi, l'uno Rifrazione secondo l'asse.

ordinario e l'altro straordinario. camminano nell'interno del cristallo per una stessa via ma con diversa velocità.

Molti cristalli, egualmente che lo spato islandico, non presentano che una sola via per la quale il pennello rifratto possa rimanere indiviso, e perciò si dicono *cristalli ad un asse*; molti altri poi, come quelli di nitrato di potassa, ne presentano due e quindi vanno nella categoria dei *cristalli a due assi*. In questi però, eccetto due speciali direzioni del piano d'incidenza, i due fascetti di raggi rifratti sono entrambi straordinarii; e n'è facile la prova. Si divida meccanicamente un cristallo a due assi in più pezzi, e questi poi si riuniscano in ordine diverso da quello donde furono tolti; si guardi attraverso il cristallo così ricomposto una linea retta, segnata sopra un foglio di carta, e se ne vedranno due immagini sotto forma di linee spezzate. Or se uno dei fasci emergenti dal nuovo cristallo fosse stato ordinario, vale a dire indipendente nel suo cammino dalla diversa giacitura dell'asse nei varii pezzi da esso attraversati, l'immagine da esso prodotta avrebbe dovuta essere rettilinea; come realmente si trova rifacendo la stessa prova sopra un cristallo ad un asse, che allora darà due immagini della retta, una rettilinea e l'altra sotto forma di linea spezzata.

Idea della polarizzazione. 149. Si soprappongano l'uno all'altro due cristalli di spato in modo che le sezioni principali sieno tra loro parallele o perpendicolari, e per mezzo di essi si guardi un punto segnato sopra una carta; se ne vedranno due immagini, mentre in ogni altra relativa giacitura delle sezioni principali si sarebbero ottenute quattro immagini.

La luce dunque attraversando un cristallo birifrangente acquista la proprietà, che prima non aveva, di passare indivisa per un secondo cristallo, la cui sezione principale sia parallela o perpendicolare a quella del primo.

Questa proprietà che la luce acquista per mezzo della doppia rifrazione, è stata trovata da Huyghens, a cui va dovuto l'esperimento dei due cristalli soprapposti. Nel 1809 Malus guardando attraverso di un cristallo di spato i vetri del palazzo del Luxembourg in Parigi illuminati dai raggi del Sole cadente, vide con sorpresa che in due posizioni del cristallo tra loro perpendicolari l'immagine riu-

sciva unica; e così scopriva che la riflessione speculare può dare ai raggi luminosi quella stessa proprietà che essi acquistano per mezzo della doppia rifrazione. E continuando nell'esame di questo nuovo modo di produzione del fenomeno lo stesso fisico francese trovava — 1° Che vi bisogna un certo angolo d'incidenza, che varia a norma della sostanza da cui la luce è riflessa — 2° Che quest'angolo essendo pel vetro di 54° 35′, i raggi che sotto quest'angolo sono riflessi da una lamina di vetro, saranno poi sotto eguale incidenza riflessi od assorbiti da una seconda lamina della medesima sostanza, secondo che il piano della nuova incidenza si troverà parallelo o perpendicolare a quello della prima — 3° Che i medesimi fenomeni di riflessione od assorbimento presentano i raggi luminosi, i quali emersi da un cristallo birifrangente incontrano una lamina di vetro sotto l'incidenza di 54° 35′; colla differenza però che i raggi ordinarii saranno riflessi od assorbiti, secondo che la sezione principale del cr stallo sarà parallela o perpendicolare al piano d'incidenza sul vetro, e che i raggi straordinarii lo saranno egualmente quando la sezione principale sarà viceversa perpendicolare o parallela al medesimo piano d'incidenza. Dimodochè la proprietà di essere riflessi od assorbiti, che i raggi luminosi acquistano mercè riflessione sul vetro sotto l'incidenza di 54° 35′, i raggi ordinarii la posseggono rispetto al piano della sezione principale, e gli straordinarii rispetto ad un piano perpendicolare alla stessa sezione.

La luce che passa indivisa per un cristallo birifrangente, o che viene assorbita dal vetro quando lo incontra sotto l'incidenza di 54° 35′, dicesi *luce polarizzata*, e quella che simili fenomeni non presenta, si dice *luce naturale*. Il piano d'incidenza sul vetro in cui la luce acquista le proprietà che la fanno dire polarizzata, si denomina *piano di polarizzazione*; e perciò il raggio ordinario, che possiede le stesse proprietà rispetto alla sezione principale, avrà in questa il suo piano di polarizzazione, ed il raggio straordinario che le possiede rispetto ad un piano perpendicolare alla stessa sezione, avrà in questo piano perpendicolare quello della sua polarizzazione.

La voce *polarizzazione* è nata dal modo, col quale

Newton cercò render ragione del fatto della doppia rifrazione. Egli supponeva che la luce non fosse altra cosa che una materia estremamente sottile, lanciata per ogni verso dai corpi luminosi, e che ogni minima particella di questa materia avesse quattro facce parallele alla via che la molecola luminosa percorre, ed a due a due parallele tra loro. Suppose inoltre che di queste quattro facce due delle opposte fossero animate di forza attrattiva verso ciascuno degli angoli acuti del cristallo di spato, e le altre due fossero inerti. Dal che avveniva che quelle molecole luminose che presentavano all'angolo attraente una delle due facce attive venivano separate da quelle che allo stesso angolo presentavano una delle due facce inerti; e così il cristallo birifrangente non faceva che ordinare o *polarizzare* la luce per facce o *poli* di massima e minima azione.

Nel capo seguente vedremo quale idea dobbiamo farci della polarizzazione nello stato attuale della scienza.

V.

Natura della luce.

La luce è materia — Il sistema dell'emissione e quello delle ondulazioni — La rifrazione considerata nei due sistemi — Interferenza dei raggi luminosi — Il moto rettilineo della luce e la diffrazione — La riflessione speculare e la diffusione — La polarizzazione.

La luce è materia. 150. La luce è materia, appunto perchè impiega un tempo (n° 119) per andare da un punto all'altro dello spazio. Se la luce fosse una semplice azione a distanza, come la gravità planetaria, dovrebbe essere coesistente in tutti i punti del suo raggio di azione.

Il sistema della emissione e quello delle ondulazioni. 151. Poichè la luce è materia, la sua azione non può essere altra cosa che un impeto di molecole lanciate dai corpi luminosi, o quello di onde generate in un fluido sottilissimo ambiente i corpi luminosi, e da questi eccitato a moto come l'aria dai corpi sonori. La 1ª ipotesi è conosciuta sotto il nome di *sistema dell'emissione*, l'altra sotto quello di *sistema delle onde*.

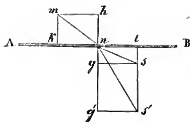
Se queste due ipotesi fossero egualmente idonee a farci comprendere la ragione di ciascun fenomeno della luce, noi dovremmo riguardarle come egualmente possibili, e perciò non avremmo motivo di preferire l'una all'altra. Ma l'ipotesi dell'emissione, dopo aver dominato lungo tempo nella scienza, perchè l'autorità più che le ottiche scoperte di Newton l'avevan fatta riguardare come solidamente stabilita, è venuta poi ad urtare contro difficoltà sì gravi da doverla dichiarare impossibile; dimodochè oggi siamo costretti a dire che la luce è materia vibrante e che realmente esiste un fluido, *l'etere*, le cui ondulazioni producono la sensazione della luce.

La prova decisiva dell'impossibilità del sistema dell'emissione è venuta dal fatto della rifrazione, come ci faremo a dire nel n° seguente.

La rifrazione considerata nei due sistemi.

152. Rappresenti AB (*fig. 154*) la superficie di separazione di due mezzi di diversa forza rifrangente, ed *mn* la via per cui una molecola di luce viene ad incontrarla. Perchè la molecola penetrando nel secondo mezzo devii dal suo cammino, deve incontrarvi un'attrazione od una resistenza. Se questa fosse la cagione del deviamento, l'angolo di rifrazione dovrebbe riuscire sempre più grande di quello d'incidenza. Ed in vero consideriamo la velocità *mn*, con cui la molecola luminosa viene ad incontrare AB, come risultante di una velocità *hn* normale alla superficie AB, e di un'altra tangenziale *kn*. Questa seconda componente nell'istante dell'incontro non patisce verun cangiamento, l'altra ne resterebbe diminuita di quanta è la resistenza del secondo mezzo; dimodochè la molecola di luce vi entrerebbe colle velocità componenti $nt = kn$ ed ng minore di hn. La sua via nel 2° mezzo sarebbe rappresentata

fig. 154.



dalla diagonale *ns*, la quale fa colla normale *hg* un angolo più grande di *mnh*.

Perciò Newton, che illustrò col suo nome il sistema dell'emissione, ammise non una resistenza, ma una forza attrattiva tra le molecole del mezzo rifrangente e quelle della luce. Se la molecola luminosa è attratta più fortemente dal mezzo in cui entra, che da quello dond'esce, la componente normale *ng'* della velocità di entrata sarà maggiore dell'omonima componente *hn* della velocità che aveva; la molecola dunque camminerà per la via *ns'*, avvicinandosi vieppiù alla normale d'incidenza. E se fosse attratta meno, la componente normale *ng* riuscirebbe minore di *hn*, e la molecola di luce si scosterebbe maggiormente dalla normale, camminando per *ns*.

Or comparando al triangolo *mkn* i due triangoli *ngs*, *ng's'* si troverà facilmente essere *mn* maggiore di *ns* e minore di *ns'*. Dunque se la luce è materia emessa, la dovrà andare più celere nei mezzi che più fortemente la rifrangono.

Ponendo in vece che la luce sia moto di onde, troveremmo come pel suono (nº 97) che essa all'opposto deve andar più lenta nei mezzi più rifrangenti.

Ed ecco un giusto criterio per decidere se la luce sia materia emessa o vibrante; basterà vedere se vada più o meno celere nei mezzi più rifrangenti. Questa prova, la cui possibilità non era concepibile ai tempi di Newton, oggi è un fatto; e la scienza mercè sperimenti della cui esattezza non è lecito dubitare, è venuta a conoscere che la luce va più lenta per l'acqua che per l'aria, vale a dire che essa va più lenta pel mezzo che più fortemente la rifrange.

E così il sistema dell'emissione è stato distrutto dalle stesse sue conseguenze.

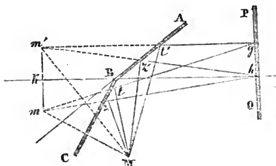
Interferenza dei raggi luminosi.

153. L'interferenza dei raggi luminosi è stata conosciuta assai prima che quella dei raggi sonori, di cui si è detto nel nº 113. La prima fu scoperta per azzardo, la seconda poi è stata appositamente cercata per dimostrare che il fenomeno poteva risultare da moto ondulatorio, mentre si chiariva impossibile nel sistema dell'emissione.

L'apparecchio meglio accomodato a produrre l'interfe-

renza dei raggi luminosi è quello ideato da Fresnel, e che si vede nella *figura 155*. AB e BC sono due specchi piani

fig. 155.



inclinati tra loro sotto un angolo assai ottuso, ed M è un punto luminoso di cui gli specchi danno le immagini *m* ed *m'*. L'apparecchio è situato in una camera oscura, in cui il punto luminoso M è prodotto da una lente che riunisce nel suo fuoco i raggi solari fatti penetrare per un foro; i quali riverberati dagli specchi, vanno poi ad incontrare il setto PQ e vi disegnano delle linee o *frange* iridate.

Impedendo alla luce riflessa da uno degli specchi di pervenire al setto PQ, le frange spariranno immediatamente ed una luce uniformemente diffusa ne occuperà il luogo. Le frange sono dunque prodotte dall'incontro dei raggi riverberati da uno degli specchi con quelli riflessi dall'altro; e poichè gli specchi sono inclinati sotto un angolo assai ottuso, è facile comprendere che i raggi nel loro incontrarsi debbono fare un angolo assai acuto.

Guardando le frange attraverso un vetro colorato che lasci passare sola luce omogenea, l'iridazione sparisce e si vedranno invece alternate linee nere e lucide del colore dei raggi che il vetro trasmette. Con una serie di vetri che successivamente ci diano i colori prismatici dal

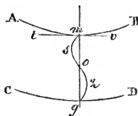
rosso al violetto, osserveremo che nello stesso ordine le frange vanno diminuendo di ampiezza; quindi producendosi tutte ad un tempo, come avviene colla luce bianca del sole, esse non possono esattamente sopr apporsi l'una all'altra, e da ciò l'origine della loro iridazione.

Le frange nere in quelle prodotte da luce omogenea, ci presentano i luoghi in cui i raggi si sono distrutti per mutuo incontro, come le linee lucide ci fanno vedere in quali punti i raggi incontrandosi hanno unite le loro forze.

Ponendo che la luce sia materia emessa, si comprende bene l'esistenza delle frange lucide, poichè forze concorrenti sotto un angolo assai piccolo danno una risultante presso che eguale alla loro somma. Ma l'esistenza delle frange nere sarebbe inesplicabile, essendochè dovremmo ammettere la possibilità di equilibrio di due forze che s'incontrano con un angolo acutissimo. È stata questa la prima seria difficoltà che l'esperienza ha presentata al sistema dell'emissione.

Per comprendere poi la ragione delle linee nere nel sistema delle onde fa d'uopo conoscere che ogni molecola di un mezzo in ondulazione, come la Matematica dimostra, è presa nel tempo stesso da due moti, l'uno normale e l'altro tangente alla superficie dell'onda; dimodochè se l'intervallo che corre tra gli archi AB e CB (*fig. 156*) rappresenta la lunghezza di un'onda, la molecola *m* dovrà per la coesistenza dei due moti oscillare per la linea sinuosa *mszg*. Se fosse distrutto il moto secondo la normale *mg*, la molecola *m* oscillerebbe lungo la tangente *tv*; e se viceversa fosse annullato il moto tangenziale, l'oscillazione avrebbe luogo nella normale *mg*.

fig. 156.



Or dal modo con cui si producono le interferenze acustiche (n° 113), si rileva che due suoni non possono a vicenda rinforzarsi o distruggersi, se non quando i raggi

delle rispettive onde corrono ad incontrarsi per opposte vie, vale a dire se non quando i moti normali procedono cospiranti od opposti. L'organo uditivo è dunque insensibile alla componente tangenziale del moto ondulatorio.

Al contrario il fatto che i raggi luminosi non possono interferire se non sieno concorrenti ad angolo acutissimo, ci dimostra che il chiarore o l'oscurità nascente dal loro incontro non può dipendere che da concorrenza o contrasto dei moti tangenziali, e che in conseguenza l'occhio è insensibile al moto normale. Per le quali cose è chiaro che se la teoria matematica dei moti ondulatorii non avesse scoverta l'esistenza dei loro moti componenti, un esame accurato delle condizioni richieste dalle interferenze luminose e sonore avrebbe potuto scoprirla.

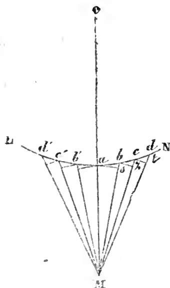
E si osservi che il moto tangenziale è opposto nei due archi *mso*, *ozg* di un'onda intera, egualmente che lo è il moto normale nelle due metà *mo* ed *og* di tutta la sua lunghezza; e che in conseguenza due raggi luminosi, egualmente che due raggi sonori, si dovranno l'un l'altro rinforzare o distruggere, secondochè le vie percorse fino al punto d'incontro saranno differenti per un numero pari od impari di semionde. Quindi si comprende — 1° Perchè nell'intersezione *h* del setto PQ (*fig. 155*) col piano *kBh*, alla quale intersezione i raggi pervengono dopo aver percorsi eguali cammini, vi sia sempre una frangia lucida — 2° Perchè da un lato e dall'altro della frangia centrale, e nei luoghi in cui le differenze di cammino pareggiano le lunghezze di 1, 2, 3, 4, ecc. di semionde, si trovino frange alternamente oscure e lucide — 3° Che le ampiezze delle frange decrescendo dal rosso al violetto, nello stesso modo dovranno comportarsi le lunghezze delle rispettive onde — 4° Come in fine Fresnel calcolando le dette differenze di cammino abbia potuto misurare le lunghezze delle onde produttrici dei diversi colori del prisma; lunghezze che sono sempre piccolissime, imperocchè quella delle onde che danno il rosso estremo dello spettro, e che di tutte sono le più lunghe, non arriva a pareggiare la millesima parte di un millimetro.

156. Una delle grandi difficoltà che incontrava il sistema delle onde, e che fino a mezzo secolo fa indusse i fi- **Il moto rettilineo della luce e la diffrazione.**

sici più illustri a seguire il sistema newtoniano, era quella di dar soddisfacente ragione del moto rettilineo della luce e quindi della produzione dell'ombra, mentre si conosceva che il suono s'inflette rasentando gli ostacoli che si presentano sul suo cammino, e perciò non lascia dietro di essi uno spazio in perfetto silenzio. Questa difficoltà oggi più non esiste, ed il moto rettilineo della luce nel sistema delle onde è divenuto conseguenza necessaria di due principii, l'uno messo innanzi da Huygens, l'altro da Fresnel; ed ecco come:

Supponiamo in O (*fig. 157*) un centro luminoso, e che una delle onde prodotte nell'etere ambiente sia pervenuta in LN. Sia M il luogo occupato dall'occhio dell'osservatore, e supponiamo che da tutti i punti della superficie dell'onda LN, come centri di vibrazione, partano dei raggi diretti verso il punto M. Cominciando dal punto *a*, in cui la congiungente MO incontra la superficie dell'onda, prendiamo gli archi *ab*, *bc*, ecc. *ab'*, *b'c'*, ecc. di tali lunghezze che le differenze di cammino dei raggi M*b* ed M*a*, M*c* ed M*b*, ecc. e così ancora dall'altro lato del punto *a*, siano eguali alla lunghezza di una semionda. Or la Matematica dimostra che per soddisfare a questa condizione le lunghezze degli archi *ab*, *bc*, ecc. debbono andar sempre decrescendo, del pari che quelle degli archi *as*, *bz*, ecc, descritti col centro comune M e coi raggi M*a*, M*b*, ecc. ed alle cui lunghezze sono proporzio-

fig. 157.



nali (n° 116) le quantità di raggi luminosi inviati al punto M dagli archi *ab*, *bc*, ecc. Sono dunque in numero crescente i raggi diretti al punto M dagli archi *dc*,*cb*,*ba*; sono ancora ordinatamente differenti di una semionda; dunque tutti i raggi che vengono da *dc* si elideranno con altrettanti partiti da *cb*, ed i raggi residui di *cb* si distruggeranno con egual numero di quelli provvenienti da *ba*. Dicasi altrettanto dei raggi diretti al punto M dagli archi *d'c'*,*c'b'*,*b'a*, e si vedrà che di tutti i raggi partiti dalla superficie dell'onda LN rimarranno efficaci ad agire sul punto M soltanto quelli che vengono dai punti prossimi ed *a*; vale a dire che l'occhio situato nel punto M riceverà l'azione luminosa, come se fosse venuta lungo la retta OM.

Questa spiegazione del moto rettilineo della luce oltre al principio che l'occhio non possa avvertire se non il moto tangenziale della superficie dell'onda, suppone ancora l'altro che ogni punto della superficie di un'onda debba riguardarsi come nuovo centro d'irradiazione. Il primo di questi due principii è dovuto a Fresnel ed è stato rifermato dai fenomeni d'interferenza: l'altro, già proposto da Huygens, è dichiarato reale dall'esperimento che segue.

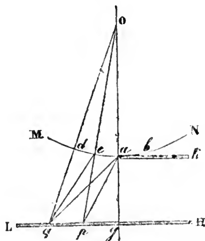
Nell'interno di una camera oscura si faccia entrare un fascetto di raggi omogenei, ottenuti col far passare la luce solare, attraverso una lamina di vetro colorato, permeabile da un solo dei colori del prisma. Al fascetto dei raggi omogenei si opponga primieramente una lente cilindrica, che li raccolga nella sua linea focale che supponiamo in O (*fig. 158*) perpendicolare al piano della figura, indi il setto opaco *ak* coll'orlo *a* parallelo alla linea focale O, ed in fine il setto LH. Ponendo vero il principio di Huygens, facciamoci a considerare quali fenomeni luminosi dovrà presentare il setto LH.

— 1° La porzione *g*H, su cui nel sistema dell'emissione il setto *ak* dovrebbe projettare un'ombra perfetta, dovrà in vece presentare un debole chiarore nella parte prossima al limite *g*, chiarore prodotto dai raggi provvenienti dalla porzione M*a* dell'onda MN.

— 2° Conducendo su LH una retta *p* parallela all'orlo *a*

ed a tale distanza dal limite g dell'ombra geometrica che ap superi cp di una semionda, la linea p dovrà essere il

fig. 158.



luogo di una frangia lucida, imperocchè i raggi che vi manda l'arco ac non possono più venir distrutti da quelli dell'arco ab, che sono trattenuti dal setto opaco ak.

— 3° Menando similmente una retta q a tale distanza da g che aq superi dq di un'onda intera, sarà q il luogo di una frangia oscura, stante che i raggi inviati da ac, non essendo più contrastati da quelli di ab, restano efficaci a distruggere i raggi che vengono da dc, come quelli che differiscono dai primi di una semionda. E così procedendo troveremmo ragion di essere per una seconda frangia lucida, indi per un'altra oscura, ecc.

— 4° Facendo variare dal rosso al violetto il colore della luce ammessa nella camera oscura, le ampiezze delle frange lucide ed oscure dovranno decrescere nel medesimo ordine, perchè decrescenti ancora sono le lunghezze

delle onde luminose dal rosso al violetto. Laonde se venisse introdotta una luce bianca, le frange dovrebbero presentarsi iridate.

Tutte queste conseguenze del principio di Huygens si trovano effettuate nel descritto esperimento, che fu ideato ed eseguito da Fresnel con quella precisione con cui un matematico sa menare ad effetto una ricerca sperimentale. E si osservi che le frange così prodotte non possono menomamente attribuirsi ad interferenze dei raggi riflessi coi raggi diretti, imperocchè Fresnel le ha trovate sempre le stesse, adoperando come spigolo di corpo opaco ora il taglio ed ora il cozzo di un rasojo. Per la qual cosa è chiaro che l'azione del setto opaco sta tutta nell'impedire l'irradiazione di una porzione dell'onda.

Questi fenomeni ed altri consimili che i raggi luminosi producono nel rasentare il contorno di un piccolo corpo opaco, o gli orli di una stretta fenditura, vanno sotto la comune denominazione di *fenomeni di diffrazione*, perchè in essi si era creduto di vedere uno spezzamento sofferto dai raggi nel passare lambendo un corpo opaco. Il principio di Huygens e quello di Fresnel non solamente ne danno compiuta ragione, ma hanno somministrato alla Matematica il mezzo di poter scovrire dei fatti, di cui neppur la possibilità poteva immaginarsi. Limitandoci a quello che può esser compreso dalla comune dei lettori, diciamo che fermando sopra una sottile lastra di vetro un piccolissimo disco metallico, illuminandolo con luce che parta da un punto dell'asse del disco, e ricevendo sopra un piano l'ombra che il disco lascia dietro di sè, il cerchietto oscuro dell'ombra projettata presenterà luminoso il suo centro, quando il piano che riceve l'ombra si troverà ad una certa distanza dal disco che la projetta. Stando all'idea del moto rettilineo della luce, l'esistenza di questo fatto era impossibile a prevedersi.

La riflessione speculare e la diffusione.

157. Per dare soddisfacente spiegazione del fenomeno della riflessione speculare, Newton fu costretto a supporre una forza ripulsiva tra le molecole della luce e la superficie del corpo riflettente, mentre (n° 152) il fenomeno della rifrazione voleva in vece una forza attrattiva. Ma noi vediamo il fondo di un bacino nel tempo stesso che la

superficie dell'acqua riverbera le immagini degli oggetti circostanti; bisognerebbe dunque che alcune molecole di luce fossero respinte dal liquido, mentre che altre, interamente simili alle prime, ne vengono attratte. Ciò è impossibile a concepirsi senza ricorrere alla stranissima ipotesi, che la logica del sistema impose a Newton, di supporre cioè che una molecola di luce milioni di volte in ogni secondo alterni le sue disposizioni ad essere attratta o ripulsa. Nel sistema delle onde al contrario quello stesso impeto meccanico, che nelle vibrazioni acustiche ci dà l'eco rinforzata dalla risonanza, fa riverberare le immagini degli oggetti mentre scuote a sincrone vibrazioni il corpo percosso dall'onda luminosa.

Nè questa è la sola analogia che le onde luminose hanno colle onde sonore. Abbiamo già veduta (n° 152) quella che corre tra i loro modi di rifrazione, ed ora aggiungiamo — 1° Che se nell'eco (n° 93) l'intensità e la direzione del suono riflesso suppongono un centro virtuale di vibrazione simmetrico al centro reale, nella riflessione speculare della luce l'oggetto e la sua immagine ci danno (n° 121) due figure simmetriche pel piano dello specchio— 2° Che le onde lucide specularmente riflesse conservano il colore della luce incidente ed in conseguenza la corrispondente lunghezza di onda, come le onde produttrici dell'eco conservano la lunghezza che avevano prima dell'incidenza e quindi il grado del suono — 3° Che il miglior modo di chiarire il fatto della luce diffusa è quello di vedervi un fenomeno di risonanza, e che perciò la diffusione, anzichè un ritorno della luce incidente, deve riguardarsi come un'irradiazione che muove dai diversi punti della superficie del corpo diffondente. Ed in vero — La diffusione vuole una superficie che non sia speculare, affinchè le sue piccole asprezze sieno facilmente eccitate a sincrone vibrazioni dall'urto dei raggi incidenti; e la risonanza propriamente detta vuole un corpo che facilmente ceda all'impeto delle onde sonore — La risonanza acquista una forza meravigliosa (n° 102) quando il corpo che la produce, se fosse eccitato a vibrare, produrrebbe suono identico a quello da cui è colpito; e la diffusione allora spicca vivamente quando il corpo è illuminato dai

raggi dello spettro solare che hanno lo stesso suo colore — Se un corpo capace di risonare è colpito nel tempo stesso da più suoni, esso non risponde d'ordinario che a quello con cui può vibrare all'unisono; e sotto l'azione della luce bianca del sole i corpi prendono il colore di quegli elementi luminosi con cui vanno di accordo — I corpi bianchi, che diffondono egualmente tutti i raggi dello spettro solare, sono simili alle buone casse sonore che egualmente rispondono ai suoni di qualunque grado.

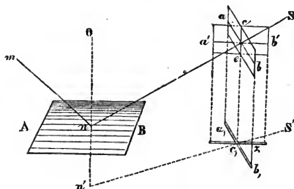
158. Abbiamo veduto (n° 149) che la polarizzazione nel sistema dell'emissione era riguardata come ordinamento delle molecole luminose per facce di massima o minima azione: cerchiamo ora il concetto che dovremo farcene nel sistema delle onde. La polarizzazione.

Evvi un minerale cristallizzato, conosciuto sotto il nome di *tormolina*, dal quale togliendo una lamina mercè sezioni parallele all'asse, la si trova trasparente od opaca rispetto alla luce polarizzata, secondo che il piano di polarizzazione è perpendicolare o parallelo all'asse del cristallo. Or la sensazione *luce* (n° 153) non essendo che l'effetto delle vibrazioni trasverse al raggio dell'onda, bisognerà dire che la lamina di tormolina trasmette queste vibrazioni quando il piano di polarizzazione è perpendicolare all'asse del cristallo, e le arresta quando il piano di polarizzazione gli è parallelo. La qual cosa mena necessariamente a dover supporre — 1° Che le vibrazioni trasverse possano camminare pel cristallo in una certa direzione, e trovino chiusa la via in una direzione perpendicolare alla prima — 2° Che le vibrazioni trasverse nella luce polarizzata debbano lungo il suo cammino rimaner sempre in un medesimo piano; imperocchè se continuamente cangiassero di piano, l'enorme celerità della luce farebbe sì che in istanti separati da intervalli insensibili esse si trovassero atte a venir trasmesse; e la continuata opacità della lamina, quando il piano di polarizzazione è parallelo all'asse del cristallo, sarebbe impossibile. E poichè la lamina è sempre trasparente rispetto alla luce naturale comunque ne sia incontrata, così bisogna dire che le vibrazioni trasverse nella luce naturale cangiano continuamente di piano. Laonde;

Nel sistema delle onde la polarizzazione non è che ordinamento delle vibrazioni trasverse a rimaner sempre in uno stesso piano.

Ma il piano delle vibrazioni trasverse della luce polarizzata come è situato rispetto al piano di polarizzazione? — Facendo cadere sopra una lastra di vetro nero (*fig. 159*) un raggio luminoso *mn* sotto l'incidenza *mno*

fig. 159.



di 54° e 35′, avremo che il raggio riflesso *ns* sarà di luce polarizzata (n° 149) nel piano *mns*. Al raggio *ns* opponiamo una lamina di tormolina in modo che l'asse *ab*, a cui le facce della lamina son parallele, sia perpendicolare al piano di polarizzazione *mns*; vedremo la tormolina rimanere egualmente permeabile dal raggio *ns*, comunque la si faccia girare intorno all'asse *ab*. Ma se la lamina si farà girare intorno alla retta *ce* perpendicolare *ab*, si vedrà la sua trasparenza rapidamente decrescere, come più piccolo diverrà l'angolo che l'asse del cristallo nella sua nuova posizione *a′b′* farà col raggio *ns*.

Questo esperimento, dovuto a Noremberg, dimostra che il piano delle vibrazioni trasverse del raggio *ns* è parallelo all'asse *ab* della tormolina ed in conseguenza perpendicolare al piano di polarizzazione. Ed in vero, imma-

giniamo projettati sopra un piano perpendicolare a *ce* il raggio *ns* e le due posizioni *ab* ed *a'b'* dell'asse della lamina; avremo così le projezioni n_1s_1, a_1b_1, a_2b_2. Essendo n_1s_1 perpendicolare ad a_1b_1, le vibrazioni trasverse incontreranno la lamina sempre parallelamente ad a_1b_1, comunque essa giri intorno a questa retta, e perciò non saranno pel girare della lamina soggette a veruna decomposizione. Ma quando l'asse sarà passato in a_2b_2, allora il moto trasverso, sempre parallelo ad a_1b_1, verrà a decomporsi in due, l'uno perpendicolare ad a_2b_2, e che non può trasmettersi alla lamina, e l'altro parallelo alla stessa retta e che sarà proporzionale alla projezione c_1z di c_1b_1 su a_2b_2. Quindi è chiaro che la diminuita trasparenza della lamina in ragione della maggiore inclinazione del suo asse al piano di polarizzazione, dimostra che le vibrazioni trasverse del raggio polarizzato debbono giacere in un piano perpendicolare a quello di polarizzazione.

ELETTRICITÀ E MAGNETISMO

I.

Principali fenomeni elettrici.

Definizione dell'elettricità — Corpi conduttori ed isolanti—Due specie di elettricità — La macchina elettrica, e suoi principali effetti — L'ipotesi di Symmer e quella di Franklin.

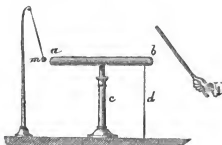
Definizione dell' elettricità.

159. Un pezzo di ambra, strofinato con panno di lana, acquista temporaneamente la proprietà di attrarre corpi leggieri, come minuzzoli di carta, fili di paglia, ecc. Dopo aver trovata questa proprietà nell'ambra, si è cercato se altri corpi potessero acquistarla, ed a mano a mano sperimentando si è venuto a conoscere che tutti ne sono capaci.

Il celebre filosofo greco, Talete Milesio, che viveva sei secoli prima dell'era volgare, conosceva questa proprietà dell'ambra; e poichè questo corpo è detto *electron* dai greci, così si è denominata *elettricità* la temporanea forza attrattiva che i corpi possono acquistare per mezzo dello strofinio, o altrimenti ancora come in seguito vedremo.

160. A piccola distanza dall'estremo *a* (*fig. 160*) del cilindro metallico *ab* sostenuto dalla colonnetta di vetro *c*, **Conduttori ed isolanti.**

fig. 160.



sospendasi con filo di seta la pallina *m* di midollo di sambuco, e si tocchi l'estremità *b* con bacchetta di vetro o ceralacca elettrizzata per mezzo dello strofinio; la pallina verrà immediatamente attratta dall'altra estremità del cilindro. Si rifaccia l'esperimento dopo aver appeso al cilindro il filo metallico *d* abbastanza lungo perchè tocchi il suolo, e si vedrà la pallina *m* rimanersi immota. L'elettricità dunque che prima percorreva il cilindro da *b* ad *a*, poi ha trovata la via del filo *d* per andar dispersa nel suolo. Quando il filo non ci era, la colonnetta di vetro *c* non ha dato mezzo all'elettricità di sperdersi prima di arrivare all'altra estremità del cilindro; vale a dire che il filo metallico l'ha lasciata passare, ed il vetro si è opposto al suo cammino. Perciò il metallo si è detto *conduttore* ed il vetro *isolante*.

Ed oltre ai metalli sono conduttori: *il carbone cotto*, *gli ossidi ed i solfuri metallici*, *le soluzioni saline ed acide*, *l'aria umida*, *i corpi degli animali*, *quelli dei vegetali*, ecc. Come insieme al vetro sono isolanti: *la lana*, *la seta*, *il solfo*, *le resine*, *il legno secco*, *i gas secchi* (eccetto l'idrogeno) *i liquidi oleosi*, *le sostanze grasse*, *i capelli*, *le unghie*, ecc.

Questa distinzione però non ha nulla di assoluto, imperocchè tal corpo che lascia passare una forte elettricità, ne arresta un'altra ch'è debole. In generale tutti i corpi presentano resistenza al moto elettrico; e perciò miglior distinzione sarebbe quella di ordinarli in *più o meno resistenti*.

Comunicando dell'elettricità ad un metallo *isolato*, vale a dire ad un metallo che in un ambiente secco sia sospeso o sostenuto da corpo isolante, si troverà che toccandolo con un dito ogni traccia di elettricità ne sparisce; al contrario quella che per mezzo dello strofinio eccitiamo in una bacchetta di vetro; non si disperde per la mano che la stringe. L'elettricità dunque è facilmente abbandonata dai corpi conduttori e ritenuta con forza dagl'isolanti; e perciò i primi si son detti ancora *deferenti* e *coibenti* i secondi. Dal che poi deriva che giammai potrà svolgersi elettricità in un corpo conduttore che non sia isolato.

Due specie di elettricità.

161. Se ai due capi di un filo di seta attacchiamo due palline di midollo di sambuco, e tenendo il filo pel suo mezzo, avviciniamo le due palline ad un bastoncino di vetro fortemente elettrizzato, vedremo le due palline venirne prima attratte, indi ripulse e rimaner poi ripellenti tra loro. E se mentre noi facciamo questo sperimento, un altro lo ripeta con un bastone di ceralacca, il risultamento sarà lo stesso; ma se le due coppie di palline si avvicinino tra loro, le vedremo lanciarsi l'una contro l'altra. L'elettricità eccitata nel vetro non è stata dunque la stessa che quella svolta nella ceralacca, imperocchè se le due elettricità fossero state una medesima cosa, le palline che han toccato il vetro, anzichè attrarsi con quelle cacciate via dalla ceralacca, le avrebbero dovuto ripellere del pari che si respingevano tra loro.

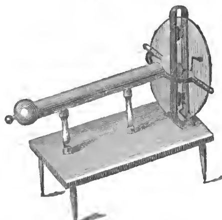
Abbiamo dunque due elettricità diverse. Dufay, fisico francese, che faceva questa capitale scoperta nel 1733, denominò l'una *elettricità vitrea* perchè la trovava nel vetro, l'altra *resinosa* perchè l'aveva da una resina. Possiamo dunque formolare il dato dell'esperienza nel seguente modo;

Le elettricità omonime si ripellono, le eteronome si attraggono.

E tale è la dipendenza che esiste tra le due elettricità, che non si conosce mezzo di produrre l'una delle due senza che si mostri anche l'altra. Così se strofinando una liscia bacchetta di vetro con panno di lana il vetro prende l'omonima elettricità, il panno prenderà l'elettricità resinosa, come facilmente potremo chiarircene avvicinando alla faccia strofinata del panno di lana un pendolino elettrico, la cui pallina di midollo di sambuco sia stata già ripulsa dal vetro. E quando questo avesse una superficie spulita, o quantunque liscio fosse strofinato con pelle di gatto, avremmo nel vetro elettricità resinosa e nel corpo strofinante elettricità vitrea.

162. La *macchina elettrica* è un apparecchio ordinato a darci copioso svolgimento elettrico. Nell' ordinaria sua forma componesi di un disco di vetro (*fig. 161*), girevole **La macchina elettrica ed i suoi principali effetti.**

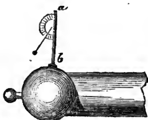
fig. 161.



intorno ad un asse sostenuto da due pilastri di legno, i quali nelle loro facce interne portano ciascuno due cuscini, contro cui strofinando il disco nella sua rotazione si elettrizza. Ad un quarto di giro da ciascuna coppia di cuscini il disco si trova in mezzo a due archi di ottone a forma di mandibole ornate nell'interno di punte metalli-

che; le due mandibole sono portate da un arco anche di ottone, che nel suo mezzo è fermato ad un cilindro dello stesso metallo, sostenuto da colonne di vetro. Le mandibole, l'arco che le porta ed il cilindro formano il *conduttore* della macchina, il quale finisce con una palla, su cui suole impiantarsi l'*elettroscopio di Henley*, o *elettroscopio a quadrante*. È questo uno strumento destinato ad indicare la maggiore o minor dose di elettricità di cui è carico il conduttore, e si compone di un bastoncino di legno *ab* (*fig. 162*) a cui è fermato un quadrante graduato, dal cui centro pende uno stecchetto di avorio che porta in punta una pallina di midollo di sambuco. Il bastoncino è fermato al conduttore mercè una ghiera metallica, su cui riposa la pallina dell'elettroscopio quando la macchina è in riposo. Ma se il disco si fa rotare girando la manovella fermata al suo asse, la superficie di esso disco strofinando sui cuscini si elettrizza, e l'elettricità così svolta è sottratta dalle punte di cui son provviste le mandibole, e va poi diffusa su tutta la superficie del conduttore: la ghiera, su cui riposa l'elettroscopio, ne partecipa; la comunica alla pallina, questa n'è respinta, e dall'angolo più o meno grande che il suo filo di sospensione segna sul quadrante graduato, si arguisce la maggiore o minor dose di elettricità sparsa sul conduttore (1).

fig. 162.



(1) Sarebbe un errore il credere che quando l'indice dell'elettrometro segna un deviamento doppio, triplo, ecc. si abbia sul conduttore una quantità elettrica doppia, tripla, ecc., vale a dire che l'istrumento di Henley sia un *elettrometro*, come sul principio si era creduto: imperocchè i matematici dimostrano che in questo strumento le forze elettriche sono proporzionali non agli archi di deviamento, ma ai cubi delle corde che li sottendono; rimanendo perciò sempre vero che la forza elettrica è più o meno grande, secondo che più o meno grande è l'angolo di deviamento.

Principali effetti — 1° Se al conduttore di una macchina in azione avviciniamo una punta di metallo, vedremo il pendolo elettroscopico, già rimosso dalla sua verticale di equilibrio, ritornarvi immediatamente. Le punte metalliche hanno dunque il potere di attrarre l'elettricità; e perciò ne sono armate le mandibole del conduttore, e l'estremità di quelle aste metalliche, che sotto il nome di *parafulmini* sono destinate ad impedire lo scoppio del fulmine sottraendo l'elettricità delle nubi temporalesche.

E se la punta in vece di approssimarla al conduttore ve la impiantiamo sopra ed avviciniamo ad essa il concavo della mano, ci sentiremo ivi colpiti da un venticello fresco; e rifacendo l'esperimento nel bujo, vedremo dalla punta impiantata uscire un fiocco di luce e su quelle delle mandibole una stelletta luminosa. Le punte dunque non solamente sono buone ad attrarre ma a disperdere ancora l'elettricità, la quale n'esce sotto forma di fiocco e vi entra sotto quella di una stelletta.

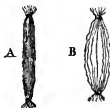
— 2° Quando per la rotazione del disco lo svolgimento elettrico ha luogo, si sente un odore fosforico simile a quello osservato nelle abitazioni colpite dal fulmine; e se al disco girante avviciniamo il viso, proveremo l'impressione che ci farebbe una tela di ragno. La quale ultima sperienza si può fare più comodamente avvicinando ad una guancia una bacchetta di vetro fortemente elettrizzata.

— 3° Se al conduttore carico di elettricità avviciniamo la giuntura di un dito, ne trarremo una scintilla scoppiettante e pungente, che dalle buone macchine serpeggiando come la folgore si estende per la lunghezza di molti pollici. Essa varia di colore a norma della natura dei corpi tra cui balena e quella del mezzo che attraversa: così la scintilla è gialla quando è tratta col carbone ed ha color cremisino quando scocca tra palle di legno o di avorio; attraverso il vapore di mercurio si mostra verde, e bianca nell'acido carbonico e nell'aria compressa. Nel vuoto pneumatico poi l'elettricità lascia di andare a salti e procede in corrente di luce porporina.

Le diverse manifestazioni dell'elettricità ai sensi del tatto, dell'odorato e dell'udito furono motivi più che sufficienti a far supporre che fossero azioni di un fluido spe-

ciale, perciò denominato *fluido elettrico*; e tosto vedremo che sulla natura di questo fluido furono messe innanzi due ipotesi diverse. Ma già in Italia il Fusinieri analizzando gli effetti delle scariche elettriche aveva sostenuto che la scintilla non fosse altra cosa che la materia stessa del corpo da cui balena, ridotta allo stato di vapore luminoso, quando l'analisi spettrale trovando nella scintilla elettrica le righe caratteristiche delle sostanze da cui muove, è venuta a dimostrarci che il fluido elettrico, conformemente al concetto del fisico italiano, non è che la stessa materia ponderabile volatilizzata da quelle azioni per cui l'elettricità s'ingenera.

fig. 163.

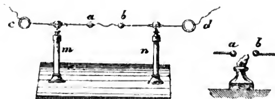


— 4° Si sospenda al conduttore della macchina un fascetto A (*fig. 163*) di fili di canape stretto da nodi nei due estremi, e lo si vedrà prendere la forma B quando il disco sarà messo in giro. La ripulsione che l'elettricità ha comunicata ai fili del fascetto, ha luogo ancora tra le molecole di un corpo che essa percorre; e così comprendiamo come avvenga che l'acqua, la quale cade a goccia a goccia da un piccolissimo foro scolpito nel fondo di una secchia, muti poi il suo stillicidio in un sottilissimo zampillo, quando la secchia è sospesa al conduttore di una macchina in azione ed in modo che l'elettricità possa fluire nell'acqua.

— 5° Due colonnette di vetro *m* ed *n* (*fig. 164*) sostengono i bastoncini metallici *ac* e *bd*, scorrevoli in due tubetti fermati alle teste delle colonnette: i due bastoncini sono terminati da palline in *a* e *b*, e negli estremi opposti finiscono negli anelli *c* e *d*. Congiungendo mercè fili metallici l'anello *c* al conduttore e l'anello *d* ai cuscini di una macchina elettrica, si vedrà il pendolo elettroscopio rimanersi inerte durante la rotazione del disco, quando le palline *a* e *b* si trovano a mutuo contatto; ma se per poco si scosti una pallina dall'altra, una serie rapidissima di scintille si vedrà balenare tra le due con sincrone scosse del pendolo elettroscopico. Ciò che dun-

che sembrava riposo elettrico durante il contatto delle palline, non era che circolazione tra il disco ed i cuscini

fig. 164.



stabilita per mezzo del conduttore e dell'apparecchio ora descritto. E per trovare il verso di questa circolazione basterà interporre una fiamma alle due palline, allontanate di tanto da non dar più luogo allo slancio della scintilla; l'inclinazione della fiamma verso la pallina congiunta ai cuscini ci dimostrerà che il movimento elettrico procede dal vetro ai cuscini passando pel conduttore.

In questo sperimento è degno di nota il fatto che il pendolino elettroscopico, fortemente ripulso dopo che le palline *a* e *b* vengono di tanto allontanate l'una dall'altra da impedire il salto della scintilla, ricade poi interamente quando tra le stesse palline s'introduce una fiamma. Le fiamme dunque son dotate di forte potere conduttore.

163. Franklin poneva che in tutto lo spazio fosse diffuso un fluido sottilissimo, *l'elettrico*, il quale non dà verun segno della sua presenza, finchè i corpi ne contengono quel tanto di cui sono naturalmente capaci; ed i corpi allora si dicono trovarsi nel loro *stato naturale*. Ma se per mezzo dello strofinio o altrimenti un corpo venga a sopraccaricarsi di elettrico o a perderne una parte, allora i ségni elettrici appariscono, e si dirà esser divenuto *elettropositivo* o *elettronegativo* sendochè si troverà di aver guadagnata o perduta una qualche dose di elettrico. Questa elettricità positiva del fisico ameri- Le ipotesi di Franklin e di Symmer.

cano, come in seguito vedremo, non è altra cosa che l'*elettricità vitrea* di Dufay, e l'elettricità negativa è identica alla *resinosa*. Vi aggiunse inoltre che le molecole dell'elettrico sono animate da reciproca ripulsione, mentre sono attratte dalla materia ponderabile.

Se questa ipotesi si spoglia dell'idea di un fluido speciale, di cui la scienza non ha bisogno, essa si trova perfettamente di accordo col 5° sperimento del n° precedente, e con altri fatti fondamentali che in seguito esporremo.

Dopo l'ipotesi di Franklin venne fuori quella di Symmer, fisico inglese, il quale ponendo ancora l'esistenza di un fluido speciale, lo volle composto di due altri che distinse cogli aggiunti di *vitreo* e *resinoso*. Finchè questi due componenti sono tra loro uniti, non si hanno fenomeni elettrici; ma questi appariranno, tosto che per una cagione qualunque i due fluidi si troveranno separati. Così l'elettrizzamento che nell'ipotesi di Franklin vuol dire cacciar l'elettrico da un corpo in un altro, in quella di Symmer vale separazione dei due fluidi elementari che per mutua attrazione tendono sempre a riunirsi, mentre le molecole di ciascuno sono tra loro ripellenti.

II.

Principali fenomeni magnetici.

Definizione del magnetismo — Poli — Forza direttrice e momento magnetico — Declinazione — Inclinazione — Equatore magnetico — I fluidi boreale ed australe — Corpi magnetici e diamagnetici.

Definizione del magnetismo.

164. Da tempo immemorabile è noto un minerale, che i Greci dissero *magnetes* ed i Latini *magnes*, donde poi son venute le voci *magnetismo*, *magnete*, *magnetico*, ecc. Questo minerale, che ha la proprietà di attrarre il ferro, ha ricevuto presso noi il nome di *calamita*, voce che si vuole derivata dalle due parole latine *celo* e *hamus*, quasi che vi si nascondesse un amo per attirarsi il ferro. Il suo aspetto terroso gli ha fatto dare anche il nome di *pietra*

calamita; ma la Chimica ha trovato che questa pietra non è altra cosa che un composto di ossigeno e ferro.

Oltre a queste *calamite naturali* se ne hanno ancora delle *artificiali*, fatte ordinariamente di acciajo temperato e talvolta di ferro dolce, le quali secondo la varia loro forma prendono i nomi di *verga calamitata*, *ago calamitato*. ecc.

165. La forza con cui la calamita attira il ferro non si mostra egualmente energica in tutti i punti della calamita, ma in due più che negli altri, e questi due punti di massima attrazione si dicono *poli*. Quindi avviene che rivolgendo una verghetta calamitata nella limatura di ferro, questa vi aderisce in gran copia nelle parti estreme, nella linea media non se ne attacca verun granello. I poli dunque stanno prossimi alle due estremità della verga, e colla linea media si confonde la *linea neutra*. Poli.

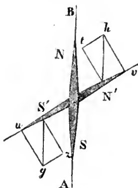
Fatto bilicare sopra una punta un ago calamitato, lo vedremo nel suo equilibrio definitivo dirigere una delle sue estremità verso il Nord, l'altra verso il Sud; e quell'equilibrio è stabile, imperocchè l'ago, quando n'è rimosso, vi fa ritorno mercè una serie di oscillazioni. Quindi i due poli di un ago calamitato, ed in generale i due poli di una calamita di forma qualunque, vanno distinti coi nomi di *polo nord* e *polo sud*. E se di due calamite avviciniamo i poli boreali o gli australi, li vedremo a vicenda ripellersi, mentre il polo nord dell'una attrae il polo sud dell'altra e viceversa. Dunque i poli di uno stesso nome si ripellono e quelli di nome diverso si attraggono.

166. Abbiamo qui sopra detto che un ago calamitato, messo in bilico sopra un punta, trova il suo equilibrio stabile, quando la linea congiungente i suoi poli va presso che nella direzione nord-sud, come se la terra fosse un'immensa calamita che avesse il suo polo sud nell'emisfero boreale ed il polo nord nell'astruale. Sia questa od altra la vera cagione della tendenza dell'ago calamitato ad una direzione fissa, sarà sempre vero che questa tendenza è un indizio certo dell'esistenza di una forza, perciò denominata *forza direttrice*. La quale non ha componente verticale imperocchè un ago di acciajo, Forza direttrice e momento magnetico.

messo alla prova di squisita bilancia, presenta sempre uno stesso peso si prima che dopo di esser calamitato; e nemmeno ha componente orizzontale, stante che una verghetta calamitata, messa a galleggiare per opera di una tavoletta di sughero su di un'acqua in perfetta calma, non dimostra tendenza di andare nè verso nord, nè verso sud. La forza direttrice è dunque una coppia (n° 29) le cui forze componenti dovranno essere applicate ai poli della calamita, e che deve rimanere perfettamente svolta, quando la calamita, che supponiamo girevole intorno ad un asse verticale, avrà preso il suo equilibrio definitivo: in conseguenza le componenti di questa coppia dovranno esser sempre parallele alla linea di riposo di un ago calamitato.

Supponiamo AB (*fig. 165*) la linea austro-boreale in cui l'ago calamitato SN, mobile intorno ad un asse verticale projettato in O, trova il suo equilibrio stabile. Rimovendo l'ago dal suo luogo di equilibrio e girandolo finchè non venga in S'N', le componenti della coppia direttrice in questa nuova posizione saranno dirette secondo N'*h* ed S'*g* parallelamente ad AB. Si decomponga la N'*h* nelle due, N'*v* secondo la congiungente i due poli dell'ago ed N'*t* ad essa normale; e si faccia altrettanto della S'*g*. Le due forze N'*v* ed S'*u* come eguali ed opposte si elideranno a vicenda, e le due N'*t* ed S'*z* tenderanno a ricondurre l'ago nella sua posizione di equilibrio con un momento, che si denomina *momento magnetico*, rappresentato dal prodotto della distanza S'N' moltiplicata per la forza N'*t* (n° 33). E questo momento riuscirà più grande, sia per la maggior distanza tra i due poli dell'ago, sia perchè maggior valore avrà la componente N'*t* del magnetismo dello stesso ago. Or per

fig. 165.



un dato ago la componente $N't$, come è facile a vedersi, riesce più grande a misura che va crescendo l'angolo di deviamento NON', e raggiunge il suo valore massimo quando l'angolo NON' è divenuto retto.

167. Nel definire la linea di equilibrio stabile di un ago calamitato, mobile intorno ad asse verticale, abbiamo detto esser presso che quella di Nord-Sud. Quel *presso* abbiamo adoperato per indicare che essa non è precisamente quella della meridiana del punto di osservazione. Ed in vero la congiungente i poli di un ago calamitato non coincide colla meridiana del luogo che in alcuni punti della superficie terrestre; in tutti gli altri ne diverge per un angolo più o meno grande che si appella *declinazione magnetica*. Quindi si è denominato *meridiano magnetico* il piano verticale condotto pei due poli di un ago calamitato girevole intorno ad un asse verticale, per distinguerlo dal meridiano geografico dello stesso luogo, ed a cui rimane inclinato di quanto è la declinazione magnetica. Declinazione.

La declinazione si distingue in *orientale* ed *occidentale* secondo che il polo nord dell'ago giace a levante od a ponente del meridiano geografico. Essa è varia da un luogo all'altro nel tempo stesso, ed in tempi diversi è varia nello stesso luogo. Così a Parigi la declinazione da orientale che era, divenne nulla nel 1663; indi cominciò ad essere occidentale e nel 1814 raggiunse il suo massimo valore, dal quale sempre retrocedendo fa credere che nel 1963 l'ago tornerà di belnuovo a giacere nel meridiano geografico.

Oltre a questa variazione secolare la declinazione va soggetta ancora a variazioni annue e diurne; imperocchè essa suol essere maggiore nell'estate che nell'inverno, più di giorno che di notte. Le aurore boreali, i tremoti, le eruzioni vulcaniche vi apportano subitanee perturbazioni.

Tirando sopra una carta geografica delle curve che uniscano i punti della superficie terrestre che per un dato tempo presentano eguali declinazioni magnetiche si hanno le così dette *linee isogoniche*; di cui quella che passa per tutti i punti di *declinazione nulla* fa quasi da *primo meridiano magnetico*, a partire dal quale la declinazione

è orientale da un lato ed occidentale dall'altro. Tutte le linee isogoniche passano pei poli geografici della terra.

Inclinazione. 168. Si renda mobile un ago di acciajo intorno ad un asse menato pel suo centro di gravità, e quell'asse si tenga orizzontalmente sospeso ad un filo: è chiaro che l'ago si troverà in equilibrio indifferente. Indi si magnetizzi l'ago con uno dei metodi che in seguito diremo, e poi si torni a sospenderlo come prima; troveremo sparito l'equilibrio indifferente, ed in sua vece avremo un equilibrio stabile, pel quale l'ago calamitato non solamente tenderà a conservare i suoi poli nel meridiano magnetico, ma cercherà ancora di rimanere inclinato all'orizzonte col suo polo nord diretto verso il suolo. L'angolo che allora la congiungente i due poli dell'ago forma coll'orizzonte, si denomina *inclinazione magnetica*. E se nel nostro emisfero l'ago volge verso il suolo il suo polo nord, nell'altro emisfero abbassa in vece il suo polo sud; dimodochè evvi sulla superficie terrestre una certa linea, in tutti i punti della quale l'ago deve rimanersi orizzontale. Questa linea, irregolarmente curva e che taglia in due punti quella degli equinozii, costituisce *l'equatore magnetico*.

L'inclinazione magnetica al pari dell'omonima declinazione è varia per uno stesso tempo in luoghi diversi e per un medesimo luogo in tempi diversi. Le linee, necessariamente varie di curvatura e situazione secondo il tempo, che uniscono i punti della superficie terrestre di eguali inclinazioni, si dicono *isocliniche*; e tutte debbono intersecarsi nei punti in cui l'ago rimane verticale, e che vanno detti *poli magnetici* della terra. Di questi poli avvene uno nell'emisfero settentrionale un altro nell'australe: e per essere conforme al principio che i poli omonimi si ripellono e gli eteronimi si attraggono, bisognerà dire che la terra abbia il suo polo magnetico *sud* nell'emisfero boreale ed il polo magnetico *nord* nell'emisfero australe (1).

---

(1) Fu conosciuta la forza direttrice dell'ago calamitato e furono dati ai suoi poli i nomi delle regioni geografiche verso cui vanno diretti, assai prima che si pensasse di poter riguar-

169. Ad imitazione dell'ipotesi di Symmer sulla natura dell'elettricità, ne fu composta una rispetto ai fenomeni del magnetismo; ed in conseguenza fu detto che in tutti i corpi magnetici, vale a dire in tutti i corpi capaci di divenir calamite, esiste un *fluido magnetico*, composto di due altri fluidi, denominati l'uno *fluido boreale*, l'altro *fluido australe*. Finchè questi fluidi stanno combinati insieme, il corpo magnetico non è calamita, ma lo diviene tosto che i due fluidi mercè di un qualche processo si trovano separati. Ognuno di essi si compone di molecole che a vicenda si ripellono, ma tra le molecole di un fluido e quelle dell'altro esiste vicendevole attrazione. I fluidi boreale ed australe.

Chiaramente si vede che l'ipotesi dei fluidi magnetici, la quale sfugge alla sanzione dell'esperienza e si limita a dilucidare il solo fatto delle attrazioni e ripulsioni magnetiche, non può meritare un serio esame nello stato attuale della Fisica. Conosceremo qui appresso un'altra ipotesi, quella di Ampère, la quale ha miglior fondamento logico.

170. La calamita attira il ferro, ma opera similmente sopra tutti gli altri corpi? — Prima che Faraday avesse pubblicata una serie di ricerche all'uopo istituite con calamite assai vigorose, non si poteva dar soddisfacente risposta alla domanda che ci siamo fatta. Ma dall'esteso lavoro del fisico inglese, come ancora da sperienze di altri fisici è risultato che rispetto all'azione delle calamite tutti i corpi debbono dividersi in due grandi classi, l'una dei *corpi magnetici*, l'altra dei *diamagnetici*; nella prima vanno tutti i corpi attratti dalle calamite, nella seconda quelli che ne vengono ripulsi. Così sono magnetici: *il ferro, il nickel, il cobalto, il manganese, il platino;* e Corpi magnetici e diamagnetici.

dare la terra come una grande calamita, e quindi provvista di poli magnetici. Conseguenza logica di ciò si era che quando l'esistenza dei poli magnetici terrestri fu ammessa, bisognava dar loro dei nomi conformi al principio delle attrazioni e ripulsioni magnetiche, e non invertire quelli dell'ago calamitato, perchè si sarebbe prodotta una grande confusione in tutti quei rami di conoscenze in cui il magnetismo di un ago vale qualche cosa. Eppure dei celebri fisici francesi hanno seguita una via diametralmente opposta, ed hanno trovato imitatori!

tra i corpi più conosciuti sono diamagnetici: *il bismuto, l'antimonio, lo zinco, lo stagno, il mercurio, il rame, l'oro, il piombo, il gesso, il cristallo di monte, l'acqua, l'etere, l'acido nitrico, l'acido solforico, il vetro, la cera, la cera di Spagna, l'olio di olive, lo zucchero, il sego, il legno, l'avorio, il pane, le mele*, ecc.

Il nome di *diamagnetici*, che vuol dire *trasparenti pel magnetismo*, dato da Faraday ai corpi ripulsi dalle calamite, è derivato da certi fenomeni luminosi che questi corpi presentano, e che i limiti di quest'opera non ci concedono di esporre.

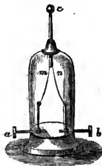
III.

Elettrometria

Elettroscopio di Bennet — Bilancia di Coulomb — Il pozzo di Beccaria, e le figure di Leichtemberg—Legge delle distanze.

Elettroscopio di Bennet. 171. Tutti gli elettroscopii finora inventati, non altrimente che quello di Henley descritto nel n° 161, poggiano sul fatto che i corpi omonimamente elettrizzati si ripellono a vicenda; e di essi togliamo a descrivere, come uno dei più usati, quello che dal nome dell'inventore è detto *elettroscopio di Bennet*. Questo si compone di una piccola campana di vetro (*fig. 166*) che riposa sopra una base di legno: la campana ha un collo chiuso con mastice dentro un cappello di ottone, che superiormente finisce nella pallina c, ed in basso porta una pinzetta che tiene sospese le laminette *m* ed *n* tolte da una foglia d'oro. Toccando con un corpo elettrizzato la pallina c, parte dell'elettricità del corpo si trasfonde nell'armatura metallica dell'istrumento; le foglie d'oro si ripellono a vicenda, e dalla loro maggiore o minore divergenza si arguisce il più o meno di elettricità posseduta dal corpo messo

fig. 166



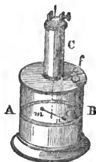
a prova. Talvolta le foglie d'oro sono spinte da sì forte ripulsione che le loro estremità inferiori urtano contro la faccia interna della campana e vi restano aderenti. A ciò evitare servono le due colonnette di ottone sormontate da palline dello stesso metallo, quali si veggono indicate nella *fig.* e che mediante i manubrii metallici *a* e *b* si possono l'una all'altra avvicinare od allontanare in modo che le fogliette d'oro urtandovi contro, restino scaricate della loro elettricità per la via dei manubrii. L'interno poi della campana vuol esser purgato di umidità che rapidamente sottrarrebbe l'elettricità delle foglie d'oro, e perciò giova che vi si ponga un vasellino con cloruro di calcio fuso, o con altra sostanza disseccante.

Nel n° 160 abbiamo detto esser tanta la dipendenza tra le due elettricità da non potersi eccitare l'una senza veder sorgere anche l'altra. Or l'elettroscopio di Bennet è un apparecchio assai acconcio per verificare questo fatto; imperocchè caricato che sia lo strumento coll'elettricità svolta in una bacchetta di vetro mercè dello strofinio di un panno di lana, si vedrà che avvicinando alla pallina dell'elettroscopio il corpo strofinante la divergenza delle foglie d'oro va decrescendo: la qual cosa dimostra che l'elettricità è richiamata dalle foglie verso la pallina dall'eteronima elettricità del corpo strofinante. Ed in generale, quando l'elettroscopio sia già carico di una data elettricità, ogni corpo che lentamente avvicinato alla pallina dell'istromento faccia scemare o crescere la divergenza delle foglie d'oro, avrà elettricità contraria o identica a quella di cui l'elettroscopio è carico.

172. È questo il solo apparecchio che meriti il nome di *elettrometro* ossia *misuratore* dell'elettricità. Ordinariamente si compone di una cassa cilindrica di vetro AB (*fig. 167*) che ha per fondo la base di legno su cui riposa. Sul coperchio della cassa si eleva il tubo cilindrico C, che porta superiormente un apparecchio a cui è attaccato un capo del filo di argento *h* che tiene sospeso il bilanciere *mn*, ed un circolo graduato per misurare i gradi di torcimento che si danno a quel filo. Il bilanciere finisce nell'estremità *n* con un piccolo disco verticale di carta dorata, il quale, girando l'apparecchio di sospensione del **Bilancia di Coulomb.**

filo *h*, può menarsi a contatto della pallina di ottone *c*, fermata all'estremità inferiore di un cilindretto di vetro, che entrato per un foro scolpito sul coperchio della cassa, vi rimane sospeso per un rialto circolare di cui è provvisto il manubrio *f*. Tanto la pallina e che il disco di carta dorata stanno al medesimo livello della zona graduata aderente alla faccia esterna della cassa.

fig. 167



Preparato l'apparecchio con disseccare perfettamente l'aria interna e recato il disco di carta dorata a contatto della pallina, si estragga questa dalla cassa per mezzo del manubrio *f*, si tocchi con essa il corpo di cui si vuol conoscere la forza elettrica, indi si restituisca al suo luogo. La pallina comunicando al disco porzione dell'elettricità sottratta al corpo, lo respingerà di alquanti gradi determinabili mercè la zona applicata alla cassa; di altrettanti gradi sarà torto il filo di argento da cui pende il bilanciere *mn*; e poichè la quantità di gradi, di cui un filo è torto, è stata trovata dallo stesso Coulomb proporzionale alla forza che ha prodotto il torcimento, così l'arco per cui il disco dorato è respinto dalla pallina deve ritenersi come proporzionale alla quantità elettrica posseduta dal corpo nel luogo in cui è stato toccato dalla pallina. Quindi si comprende come colla sua bilancia Coulomb abbia potuto ottenere i seguenti risultati.

— 1.° Che comunicando dell'elettricità ad una sfera metallica, essa si distribuisce egualmente su tutta la superficie della sfera.

— 2.° Che dell'elettricità diffusa sulla superficie di un cilindro ne va più verso le basi che nella parte media, e ne va tanto più per quanto il cilindro è più sottile. Quindi si comprende come avvenga che le punte abbiano tanta forza di sperdere l'elettricità del corpo su cui vengono impiantate; e quando nel capo seguente avremo conosciuta quell'azione dei corpi elettrici che si denomina *induzione*, comprenderemo ancora la ragione del grande potere attrattivo delle stesse punte.

— 3.° Che comunicando elettricità ad un cilindro terminato da una palla di maggior diametro, questa in proporzione ne prende meno che il cilindro; e da ciò l'utilità di far terminare i conduttori delle macchine elettriche con palle di maggior diametro.

— 4.° Che dell'elettricità diffusa su due palle unite tra loro, quella che ha minor diametro ne prende maggior dose; e perciò le scintille più robuste si ottengono da quella piccola palla che a guisa di appendice va spesso unita all'altra più grande donde il conduttore è terminato.

Il pozzo di Beccaria e le figure di Leichtemberg.

173. In un vase cilindrico di ottone, perfettamente isolato, si faccia cadere, senza che ne tocchi l'orlo, una catenella metallica fermata nell'altro estremo al conduttore di una macchina elettrica. Si diano al disco della macchina alcuni giri, indi con un filo di seta si estragga la catenella dal cilindro. Così l'elettricità dev'esservi fluita, come l'acqua dai condotti in un pozzo; e qual secchia per poterla attignere di là, Beccaria (a cui è dovuto questo sperimento) usava un dischetto di carta dorata, sospeso a filo di seta. La secchia però fatta scendere fino al fondo di quel pozzo, tornava sempre vuota di elettricità, come chiariva un sensibile elettroscopio; ed in vece ne tornava piena se toccava qualche punto della superficie esterna del cilindro.

L'elettricità dunque, comunicata ad un corpo conduttore, tende da sè stessa a recarsi sull'esterna superficie del corpo ed ivi diffondersi secondo le leggi del suo equilibrio.

Al contrario l'elettricità comunicata ad un punto di un corpo coibente, ivi rimane se non è condotta a diffondersi sull'intera superficie dall'umidità che può esservi aderente. Questo è appunto il caso del vetro, sostanza che fortemente attrae l'umidità; e perciò le colonne di vetro, destinate a sostenere il conduttore della macchina elettrica, vogliono esser coperte di uno strato di vernice, a cui l'umidità non aderisca.

La proprietà dei coibenti di ritenere l'elettricità nel luogo in cui è stata loro comunicata, è dimostrata dal seguente sperimento che dal nome dell'autore s'intitola *figure di Leichtemberg*. Prendasi una schiacciata di re-

sina, e vi si disegnino due sistemi di linee, l'uno con corpo conduttore di elettricità positiva, l'altro con un corpo conducente elettricità negativa; e su i due disegni si cacci mercè un soffietto, in cui sia stato previamente deposto, un miscuglio di solfo e minio polverati. Le due polveri per l'agitazione recatavi dal soffietto si elettrizzano; i granelli di solfo divenuti elettronegativi correranno sulle linee disegnate con elettricità positiva, e quelli di minio resi elettropositivi cercheranno le linee segnate con elettricità negativa. Così i due disegni divengono visibili, l'uno per linee gialle, l'altro per linee rosse.

Legge delle distanze. 174. Si trovava ammesso per semplice analogia che le attrazioni e ripulsioni elettriche seguissero la ragione inversa dei quadrati delle distanze, quando Coulomb colla sua bilancia di torcimento venne a chiarire la reale esistenza di questa legge. Ci basterà citare uno dei suoi sperimenti: avendo data una certa carica elettrica alla pallina della sua bilancia, egli vide il disco di carta dorata del bilanciere respinto alla distanza di 36°; volle ridurre la distanza a 18° e trovò necessario torcere il filo di argento di 126°, dimodochè il torcimento totale venne a pareggiare 144°. Facendo dunque decrescere la distanza nella ragione di 2 a 1, l'energia della ripulsione elettrica, rappresentata dai gradi di torcimento del filo, ci accresceva in quella di 1 a 4; vale a dire che la ripulsione elettrica riusciva quadrupla, allorchè la distanza era divenuta metà. Analoghi risultamenti ebbe rispetto alle attrazioni elettriche.

Alla medesima legge trovò sottoposte ancora le attrazioni e ripulsioni magnetiche, quando ebbe trasformata la sua bilancia elettrica in una bilancia magnetica; la qual cosa egli ottenne sostituendo una verghetta calamitata al bilanciere con disco di carta dorata, ed una lunga calamita al cilindretto di vetro terminato da pallina metallica. Non possiamo all'uopo citare una qualunque delle sue sperienze, stante che dovendovi tener conto della forza direttrice della calamita sospesa al filo di argento, c'imbatteremmo con calcoli inammissibili in un'opera come questa.

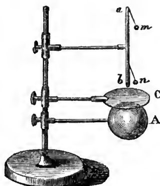
IV.

Induzione

Apparecchio di Riess — Dischi conjugati di Volta—Elettroscopio condensatore — Boccia di Leyden — Batteria elettrica — Elettroforo — Calamitazione — Distribuzione del magnetismo nelle calamite.

175. Ad un sostegno verticale (*fig. 168*) stanno fermati con bracci di vetro la palla A di foglia di ottone, il cilindro *ab* dello stesso metallo ed il disco di vetro C che viene a giacere tra il cilindro e la palla; ed al cilindro, il cui asse prolungato passerebbe pel centro della palla, stanno sospesi i pendolini *m* ed *n*, formati da globetti di midollo di sambuco attaccati a fili di seta. Apparecchio di Riess.

(*fig. 168*)



Fatta comunicare per mezzo di un filo metallico la palla A col conduttore di una macchina elettrica in azione, osserveremo i seguenti fenomeni.

— 1.° I due pendolini *m* ed *n* si vedranno respinti dal cilindro; e ciò vuol dire che il cilindro è divenuto elettrico. E siccome l'interposizione del disco di vetro C non ha concesso che l'elettricità gli venisse comunicata dalla palla A, bisognerà dire che quello stato elettrico sia risultato da una certa azione a distanza fatta dalla palla sul cilindro non ostante l'interposizione del vetro. E che la cosa vada proprio così, lo prova il fatto che la ripulsione dei pendolini riesce maggiore o minore, secondo che il cilindro si fa più vicino o più lontano dalla palla.

— 2.° Avvicinando ai pendolini *m* ed *n* un corpo posi-

tivamente elettrizzato, com'è per esempio una liscia bacchetta di vetro strofinata con panno di lana, vedremo il pendolino *n* venirne attratto ed il pendolino *m* venirne ripulso. Ma i due pendolini ed i punti del cilindro da cui sono stati ripulsi debbono avere elettricità omonime; dunque la parte del cilindro prossima alla palla è divenuta elettronegativa, ed elettropositiva la parte più lontana.

— 3.° In qualunque punto toccheremo con un dito il cilindro, vedremo cadere il pendolino *m*, ed *n* rimanere divergente, ancorchè il contatto avesse luogo nell'estremità *b*. Dunque l'elettricità omonima a quella della palla cerca fuggire per ogni conduttore che si presenta, mentre l'altra rimane aderente al suo luogo, finchè dura l'influenza del corpo agente; quindi a ragione i fisici tedeschi la chiamano *elettricità legata* (gebundene elettricität).

Da questi fatti si rileva che un corpo conduttore isolato, qual'è il cilindro del descritto apparecchio, messo in presenza di un corpo elettrizzato, si elettrizza anch'esso ed in modo che l'estremità prossima al corpo elettrizzato prende elettricità eteronima, ed elettricità omonima l'estremità più lontana. Se il corpo conduttore non fosse isolato, l'elettricità omonima a quella del corpo agente andrebbe dispersa, l'altra resterebbe.

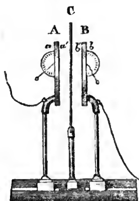
Questo modo di eccitamento elettrico, facile ad esser attuato nei corpi conduttori, difficile negl'isolanti, si appella *induzione elettrica*. Per essa i minuzzoli di carta, i fili di paglia ecc., sono prima attratti e poi ripulsi da una bacchetta di vetro elettrizzato, mentre nulla di ciò presentano dei piccoli frantumi di ceralacca, appunto perchè l'induzione vi è quasi inefficace.

La *danza elettrica*, *lo scampanio elettrico*, ed altri simili giuochetti fisici, non presentano che effetti d'induzione apparentemente diversi.

I dischi coniugati di Volta. 176. A e B (*fig. 169*) sono due dischi metallici, visti di profilo. Essi sono sostenuti da colonnette di vetro, i cui piedi sono scorrevoli in un canaletto scolpito sulla tavola che serve di base all'apparecchio: così i dischi possono farsi più o meno vicini a piacere dello sperimentatore; e perchè si potessero far vicinissimi senza

temere che l'elettricità indotta nell'uno per opera dell'altro avesse a provocare una scarica, vi sta interposto un largo disco C di vetro assai sottile. Alle facce esterne dei dischi A e B stanno uniti due quadranti graduati, di cui sono indici i pendolini *m* ed *n* formati da stecchetti di avorio che portano sospese due palline di midollo di sambuco.

fig. 169



Avvicinati i dischi A e B fino a toccare il disco C, si faccia comunicare per mezzo di un filo metallico il disco A col conduttore di una macchina elettrica in azione, lasciando isolato il disco B; vedremo divergere i pendolini *m* ed *n*, ed il primo più che il secondo. La divergenza dei due pendolini è prodotta dall'elettricità che dalla macchina si è diffusa sulla superficie del disco A, e da quella che l'elettricità diffusa sul disco A ha indotta sul disco B; e la differenza dei loro gradi di ripulsione è una conseguenza dell'intervallo che separa il corpo inducente dall'indotto.

Mercè l'azione induttrice del disco A sul disco B si troveranno sulle loro facce interne *a'* e *b'* ed in presenza l'una dell'altra due elettricità contrarie che mutuamente si attirano: e per la quale mutua attrazione avviene che dell'elettricità comunicata al disco A la faccia *a'* ne prenda più che la faccia *a*. Or se con un dito si tocchi il disco B, l'elettricità positiva esistente sulla faccia *b* ne andrà dispersa; e così venendo a mancare una forza ripulsiva contro l'elettricità diffusa sulla faccia *a'*, su questa l'attrazione dell'elettricità contraria diffusa su *b'* richiamerà nuova quantità elettrica dalla faccia *a*. Quindi si comprende perchè nel toccare il disco B il pendolino *n* ricade interamente e la divergenza del pendolino *m* ne resti scemata.

Allora con un nuovo giro della macchina elettrica si

faccia tornare il pendolino *m* alla divergenza che aveva prima che si fosse toccato il disco B. Avremo così accresciuta la carica del disco A; quindi su B una nuova induzione, dalla quale risulterà un aumento di elettricità negativa sulla faccia *b'*, nuovo richiamo di elettricità positiva su *a'* e ricomparsa della stessa elettricità sulla faccia *b*.

Tornando a toccare il disco B, avremo una nuova ricaduta del pendolino *n* con ripetuta diminuzione nella divergenza di *m*; e quando avremo restituito questa divergenza al primo suo valore, ci troveremo di aver dato novello incremento alle cariche delle facce *a'* e *b'*. Così con toccare successivamente al disco B e col ripristinare ad ogni volta la divergenza del pendolino *m*, potremo (senza che l'elettroscopio ce ne avverta) accrescere continuamente le cariche elettriche sulle facce *a'* e *b'*, e potremo farlo finchè la carica della faccia *a* non giunga al limite concesso dallo stato dell'aria ambiente.

E se in vece di toccare ripetutamente il disco B, lo poniamo in continuata comunicazione col suolo, è chiaro che per menare il pendolino *m* alla divergenza corrispondente al limite di carica di cui è capace la faccia *a*, bisognerà che il disco della macchina elettrica faccia tanti giri, quanti ne avrebbe dovuto fare per condurre allo stesso limite di carica per mezzo di ripetuti contatti. Quindi si comprende perchè la divergenza del pendolino *m* vada crescendo con estrema lentezza, quando il disco B è in continuata comunicazione col suolo.

Ma se l'elettroscopio a quadrante, di cui è provveduto il disco A, non può darci indizio delle quantità elettriche accumulate sulle facce *a'* e *b'*, potremo farci un'idea della loro grandezza applicando sul disco B l'estremità di un arco metallico, e poi recando l'altra estremità a contatto del disco A: osserveremo allora prodursi uno scoppio luminoso, effetto dello slancio di una elettricità verso l'altra; e se faremo arco colle nostre braccia recando le mani a contatto dei due dischi, ci sentiremo scossi dalla potenza elettrica.

Abbiamo finora indicate le facce interne dei due dischi metallici come luoghi di raccoglimento delle due

elettricità, l'una comunicata e l'altra indotta; ma in realtà esse stanno accumulate sulle facce del vetro coperte dai due dischi. La mutua attrazione delle due elettricità non saprebbe assegnar loro un altro luogo; ed il fatto lo riferma. Imperocchè caricato che sia l'apparecchio col mettere il disco A in comunicazione colla macchina elettrica e B col suolo, si allontanino l'uno dall'altro i due dischi, s'interrompano le comunicazioni, si tocchino colle mani per iscaricarli dell'elettricità che per avventura potessero contenere, indi si riportino a contatto del disco di vetro; se allora torniamo a toccarli, avremo la scossa.

Se il disco B in vece di porlo verticale, lo poggiamo orizzontalmente sopra un sostegno isolante, vi adagiamo sopra un largo disco di vetro, ed a questo soprapponiamo un secondo disco metallico provveduto di manubrio isolante, avremo l'apparecchio denominato *condensatore*, invenzione dello stesso Volta, e che non differisce dal precedente se non per la distanza dei due dischi metallici, la quale anzichè essere variabile a piacere dello sperimentatore, è determinata dalla doppiezza dell'interposto disco di vetro.

fig. 170



Un simile sistema di dischi metallici è stato aggiunto dallo stesso Volta all'elettroscopio di Bennet, e si è ottenuto *l'elettroscopio condensatore* (*fig. 170*) nel quale i dischi son separati non da lamina di vetro, ma da uno strato di vernice applicato a ciascuna delle facce con cui si toccano. Bentosto vedremo l'utilità di questo apparecchio.

Boccia di Leyden e Batteria elettrica.

177. Se prendiamo una caraffina, l'empiamo in gran parte di acqua, e tenendola con una mano vi facciamo dentro pescare l'estremità di una catenella metallica pendente dal conduttore di una macchina elettrica in azione, avremo sostituita la mano al disco B (*fig. 169*) e l'acqua al disco A, e perciò toccando la catenella coll' altra mano avremo la scossa. Ripeteremo così l'esperimento

che Cuneus fece nel 1746 a Leyden, e che rifatto dal suo maestro Muschenbrock gli produsse sì forte spavento da fargli dire, in una lettera a Réaumur, che non l'avrebbe ripetuto neppure a prezzo della Corona di Francia.

Dall'esperimento di Cuneus ebbe origine l'apparecchio denominato *boccia di Leyden*, e che consiste (*fig. 171*) in una giara di vetro, coperta di foglie di stagno o *armature* nei tre quarti della sua altezza sì dentro che fuori, e nel resto di ceralacca per impedire che l'umidità aderente al vetro favorisse il passaggio elettrico da una faccia all'altra della giara. Il collo n'è chiuso da turaccio di legno, attraversato da una bacchetta di ottone che inferiormente comunica coll'armatura interna, e sopra finisce in un globetto dello stesso metallo, che forma il *bottone* della boccia.

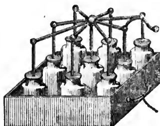
fig. 171



Dopo tutto ciò che si è detto sul modo di accumulare l'elettricità nei dischi conjugati, si comprende—1° Che una boccia non può caricarsi qualora messa in comunicazione una delle sue armature col conduttore di una macchina elettrica in azione, non si faccia comunicare l'altra armatura col suolo—2.° Che la quantità della carica dovrà dipendere dalla doppiezza del vetro di cui è fatta la boccia, dall'estensione delle armature e quindi dalla grandezza della boccia, ed in fine dallo stato più o meno isolante dell'aria ambiente. Date dunque tutte le altre cose eguali, una boccia a misura che sarà più grande, accumulerà una maggior dose elettrica; e poichè dalle fabbriche di vetro difficilmente si hanno delle giare abbastanza grandi, così si è pensato riunirno parecchie (*fig. 172*) in una cassa foderata internamento di foglia di stagno per mettere in comunicazione tutte le loro armature esterne, mentre delle bacchette di ottone rendono tra loro comunicanti le armature interne. Così facendo si ha la stessa carica che si sarebbe ottenuta in una sola boccia, le cui armature avessero pareggiate in grandezza tutte quelle delle bocce chiuse nella cassa. A queste riunioni di bocce si è dato il nome di *batterie elettriche.*

Giova intanto avvertire che grave errore sarebbe quello di credere che bastasse avere una grande batteria per ottenere cariche di una forza prodigiosa. Bisogna avere ancora una macchina elettrica di corrispondente energia, imperocchè una batteria cessa di caricarsi quando la sottrazione di elettricità operata dall'aria pareggia quella che nello stesso tempo la macchina somministra. Poniamo, ad esempio, che la macchina in ogni minuto produca una quantità elettrica rappresentata dal numero 12, e che nello stesso tempo l'aria sottragga $\frac{1}{10}$ della carica esistente; è chiaro che questa non potrà superare il numero 120, essendochè la decima parte di questa carica è appunto il numero 12. Ma se la macchina avesse data nel tempo stesso una quantità elettrica 10 volte più grande, è evidente che la carica della batteria avrebbe raggiunto un valore anche 10 volte più grande. Da ciò pertanto non si deve arguire che adoperando macchine sempre più forti, si potesse indefinitamente accrescere la carica di una batteria, imperocchè la resistenza del vetro al moto elettrico è tanta e non più, e quando la tendenza tra le due elettricità condensate sulle facce della giara riesce più forte, il vetro è bucato e la giara cessa di essere un condensatore.

fig. 172

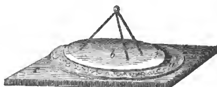


La grande quantità elettrica, che una boccia racchiude comparativamente ad ogni conduttore esteso quanto le sue armature e caricato allo stesso grado, ci fa comprendere la ragione degli effetti che la scarica di una batteria può produrre su i corpi che attraversa. Un uccello ne rimane ucciso, un tubo di vetro pieno di acqua va in frantumi, un filo di ferro abbastanza sottile è bruciato e disperso in globetti incandescenti; in somma tutti gli effetti della disgregazione molecolare che il moto elettrico

suol produrre nei corpi che attraversa, acquistano maggior risalto sotto la scarica di una batteria.

Elettroforo. 178. L'*elettroforo* (parola che suona: *io porto elettricità*) è un apparecchio inventato da Volta, e che si compone (*fig. 173*) di una schiacciata di resina, sulla quale sta un disco di metallo od anche di legno coperto di foglia di stagno. Il disco metallico, denominato ancora *scudo* suol avere un manico di vetro, ma val meglio poterlo sol-

fig. 173



levare per mezzo di cordoni di seta che vi stiano attaccati. Quando si vuol caricare l'elettroforo, si rimuove lo scudo, si strofina la schiacciata con panno di lana, o meglio con pelle di gatto; indi si rimette lo scudo, e lo si tocca con un dito; e se nel toccarlo ci sentiremo punti nel dito, saremo certi che l'apparecchio si è caricato, ed ecco come. L'elettricità negativa, eccitata dallo strofinio nella resina, induce elettricità positiva nella faccia dello scudo che le sta a contatto, e respinge sull'altra faccia la negativa; e quando questa sarà stata dispersa pel contatto del dito, resteranno tra lo scudo e la resina ed in presenza l'una dell'altra due elettricità contrarie, che la natura isolante della resina impedisce neutralizzarsi, e che non possono se non debolmente andar disperse dall'umidità atmosferica che alla resina non aderisce. Quindi è che un elettroforo ben fatto può conservare la sua carica per parecchie settimane, la qual cosa giustifica il nome che gli si è dato. Or se dopo aver caricato l'apparecchio, solleviamo lo scudo e gli avviciniamo la giuntura di un dito, ne trarremo una scintilla abbastanza vigorosa,

nascente dall'elettricità positiva indottavi dalla resina: rimettendo lo scudo al suo posto, e poi elevandolo dopo averlo nuovamente toccato con un dito, potremo averne una seconda scintilla eguale alla prima; e continuando la stessa manovra, potremo avere quante scintille vorremo; dimodochè un buon elettroforo può benissimo far le veci di un'ordinaria macchina elettrica.

179. Se ad uno dei poli di una calamita avviciniamo un ago da cucire, vedremo che dopo esserne stato attratto esso può attrarre un secondo ago; e se la calamita sia forte abbastanza, potremo ottenere che il secondo ago attiri un terzo, e questo un quarto. Se poi stacchiamo il primo ago dalla calamita e lo avviciniamo a quello di una piccola bussola, troveremo nell'estremità dell'ago più vicina al polo attraente un polo eteronimo, ed un polo omonimo nell'estremità più lontana. Calamitazione.

La calamita dunque attraendo l'ago da cucire lo ha calamitato, ma non gli ha *comunicato* il magnetismo del polo attraente, vi ha *indotto* in vece un magnetismo eteronimo nel modo stesso con cui un corpo elettrizzato induce elettricità in un conduttore isolato. E se nell'induzione elettrica vogliono essere soddisfatte alcune condizioni, perchè l'elettricità non passi dall'induttore all'indotto, nell'induzione magnetica al contrario un simile passaggio non è giammai da temersi.

Nè dalle sole calamite, ma dalla terra ancora il magnetismo può essere indotto nei corpi capaci di acquistarlo. Pongasi a tal uopo verticalmente (1) una verga di ferro dolce, e si avvicini alla sua estremità inferiore il polo nord dell'ago di una bussola ed all'estremità superiore il polo sud del medesimo ago, e li vedremo respinti dalle due estremità della verga: questa dunque pel solo fatto di trovarsi posta verticalmente è venuta ad acquistare magnetismo australe nella parte superiore e magnetismo boreale nell'inferiore. E se capovolgeremo la verga, lo stesso ago ci farà avvertiti che il magnetismo n'è scambiato,

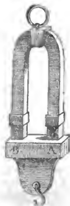
(1) La vera posizione da darsi alla verga sarebbe quella di trovarsi parallela ad un ago calamitato sospeso pel suo centro di gravità. Ma poichè la direzione verticale è sufficiente nelle nostre contrade a far palese l'induzione terrestre, così l'abbiamo indicata per rendere più agevole la prova.

trovandosi sempre l'australe in alto ed il boreale in basso della verga; l'induzione magnetica sparisce dunque nel ferro dolce colla stessa celerità con cui si è prodotta. Una verga di acciajo temperato avrebbe richiesto assai tempo per calamitarsi sotto l'influenza terrestre, ma il magnetismo acquistato non sarebbe stato fugace. Ed anche il ferro dolce acquista un magnetismo stabile, quando prolungandosi l'influenza terrestre viene a coprirsi di ruggine per azione del mezzo ambiente; ne avremo la prova lasciando un bastoncino di ferro lungamente appoggiato al muro in un angolo della casa, o meglio su di un terrazzo.

L'urto, lo strofinio, ecc., rendono più efficace l'azione induttrice della terra; e perciò le forbici, le lime, le tenaglie della bottega di un fabbro si trovano tutte calamitate. Così ancora si magnetizza prontamente un pezzo di acciajo strofinandolo e sempre per uno stesso verso contro uno dei poli di una calamita.

Per la facile induzione delle calamite sul ferro dolce questa sostanza viene usata come *armatura* a conservare ed accrescere ancora la forza di una calamita. Prendiamo ad esempio (*fig. 174*) una calamita a ferro di cavallo, ed applichiamo ad essa il pezzo di ferro dolce BA, che in questo caso prende il nome di *ancora*. I poli A e B della calamita produrranno nell'ancora i corrispondenti poli eteronimi B ed A, i quali reagendo su i primi ne conservano l'energia; e pare che la reazione si accresca in ragione della forza impiegata a separare l'ancora dalla calamita, imperocchè aggiungendo peso in una secchia pendente dall'ancora, si trova che la calamita diviene più robusta. L'aumento della carica però vuol esser fatta ad un poco per volta per impedire il distacco dell'ancora, che produrrebbe una significante diminuzione nella forza della calamita.

(*fig. 174*)



Distribuzione del magnetismo nelle calamite.

180. Considerando il modo con cui la limatura di ferro si attacca ad una verga calamitata, pare che in una metà della verga si trovi distribuito solo magnetismo boreale, nell'altra metà solo magnetismo

australe, e che nel mezzo non esista nè l'uno nè l'altro magnetismo. Eppure la cosa non va così; imperocchè spezzando in due parti eguali un filo di acciajo calamitato si vedranno sorgere prossimamente alla linea neutra due poli, l'uno australe nella metà che sembrava avere solo magnetismo boreale, e l'altro boreale nella metà in cui appariva solo magnetismo australe. E continuando a suddividere in due il filo di acciajo, avremo sempre apparizione di nuovi poli, e nel medesimo ordine in cui si sono mostrati dietro il primo spezzamento. Potrebbe credersi che i nuovi poli fossero il risultato dell'azione meccanica adoperata per la divisione del filo; ma potremo con un facile sperimento provare la loro preesistenza. Si prendano all'uopo molte verghette di acciajo assai corte e tutte di eguali sezione, e dentro un canaletto scavato in un'assicella di legno si alloghino l'una dopo l'altra in modo da formare una verga sola (*fig. 175*). Indi si calamitino come se facessero una sola verga, e si troverà che realmente il loro sistema avrà acquistata la polarità

fig. 175



magnetica come avrebbe fatto un egual pezzo di acciaio. Ponendo che siasi ottenuto a destra il polo sud dell'intero sistema ed a sinistra il polo nord, troveremo nel disfarlo che tutte le verghette sono calamitate ed hanno a destra il loro polo australe ed a sinistra il boreale; e se di ciascuna verghetta ci faremo ad esaminare la forza magnetica, troveremo in quelle prossime alle estremità della serie minor magnetismo che nelle più lontane: dimodochè nella metà della serie giacente a destra vi è stato un eccesso di magnetismo australe di ciascuna verghetta sul magnetismo boreale della seguente, e nella metà a sinistra vi è stato nel medesimo ordine un eccesso di magnetismo boreale; dond'è derivato che il solo

magnetismo australe siasi mostrato nel lato destro della serie, ed il solo boreale nel suo lato sinistro.

Necessaria conseguenza di questi fatti si è che la polarità magnetica in una calamita debba risultare dalla polarità magnetica delle sue molecole, che tutte dovranno avere magnetismo boreale da un lato e magnetismo australe dall'altro. E volendo chiarire con un esperimento la realtà di questo ordinamento magnetico nelle molecole di una calamita, prendiamo una scatoletta di legno, che colla sua forma allungata rassomigli ad una verga, riempiamola di limatura di ferro, indi sottoponiamola all'ordinario processo di calamitazione: troveremo che la scatoletta avrà realmente acquistata la polarità magnetica. Togliamo poi la limatura dalla scatola, e dopo averla rimescolata ben bene si riponga in essa; troveremo sparita la polarità magnetica pel solo fatto di aver cangiato il sito relativo nelle particelle della limatura.

V.

Diversi modi di eccitamento elettrico.

Mezzi meccanici — Calore — Azione chimica.

Mezzi meccanici. 181. Lo strofinio è cagione di eccitamento elettrico non solamente tra solidi, ma benanche tra liquidi e solidi, tra questi e gli aeriformi. Quando l'aria è molto secca, basterà immergere a più riprese un fascetto di piume nel mercurio contenuto in un calicetto di vetro, perchè lo si elettrizzi al segno di trarne una scintilla coll'avvicinargli un corpo conduttore; e se dirigiamo il soffio di un manticetto contro l'armatura metallica di un elettoscopio di Bennet, vedremo che le foglie d'oro non tarderanno a ripellersi.

Ciò che lo strofinio produce con atti ripetuti, può aver luogo nell'urto con un atto solo; e l'esperienaa ha fatto conoscere che i corpi urtandosi si elettrizzano. Così comprendiamo di qual natura sia stata la luce vista talvolta

dai navigatori nel cozzo reciproco delle montagne di ghiaccio galleggianti nei mari polari e spinte l'una contro l'altra da venti impetuosi ed opposti.

Il distacco delle superficie aderenti è un altro mezzo meccanico produttore di elettricità. Il solfo, il cioccolatte, l'acido fosforico puro, ecc., distaccati dalle forme in cui si sono solidificati, si mostrano elettrizzati.

In fine la pressione. L'ab. Haüy scopriva che lo spato islandico premuto tra le dita si elettrizza, e dietro ricerche eseguite da altri fisici la scienza oggi c'insegna che tutti i corpi possono elettrizzarsi per vicendevole pressione.

182. La tormolina, che abbiamo conosciuta nell'esporre i fenomeni della luce polarizzata, gode ancora della proprietà di elettrizzarsi per mezzo del calore, in modo che una metà del cristallo diviene elettropositiva, e l'altra elettronegativa. L'azione termica però fa d'uopo che sia crescente o decrescente; chè se divenisse costante, la tormolina cesserebbe di essere elettrica. Quindi è che l'esperimento riesce bene, quando fatta riscaldare nel fuoco, poi si toglie di là colle molle, e poggiatala sopra un sostegno girevole intorno ad asse verticale le si avvicini o un'altra tormolina similmente riscaldata, o qualsiasi altro corpo elettrizzato: si vedrà allora la tormolina girevole essere per un'estremità attratta e ripulsa per l'altra. Dividendo in due una tormolina elettrizzata, si vedranno sorgere due nuovi poli elettrici, non altrimente che avviene nel rompere una verga calamitata. Dal che si rileva che la polarità elettrica delle tormoline è molecolare egualmente che nelle calamite; la qual cosa è rifermata dal fatto che la polvere di tormolina riscaldata sopra una lamina di vetro vi aderisce, e si ammassa quando è rimescolata con un corpo secco. Calore.

Oltre la tormolina altri cristalli ancora divengono elettrici per mezzo del calore. Ed è notevole che i luoghi occupati dai poli elettrici, sono contraddistinti da difetto di simmetria nella figura del cristallo.

183. Sulla lamina, che in forma di appendice suol essere aggiunta al disco inferiore di un elettroscopio condensatore, si poggi un cilindro di carbone reso buon con- Azione chimica.

duttore (1); e mentre il disco superiore dello stesso apparecchio comunica col suolo, si accenda la sommità del carbone e se ne animi per qualche tempo la combustione con un soffietto: indi si tolga il disco superiore, e le foglie d'oro si vedranno ripellersi per elettricità, che l'avvicinamento di un corpo elettrizzato ci farà conoscere esser negativa. Si ripeta lo stesso sperimento colla sola variazione di porre il carbone in comunicazione col suolo e di far colpire l'appendice metallica del condensatore dai prodotti gassosi della combustione; si troverà l'apparecchio caricato di elettricità positiva. Ed in generale con acconci sperimenti si può chiarire che ogni azione chimica è accompagnata da svolgimento elettrico.

VI.

Pila di Volta e sue diverse forme.

Origine della pila — Pila a corona di tazze — Pila a truogo — Pila di Wollaston — Pile di forza costante — Pila di Zamboni.

Origine della pila.

184. Sul finire dello scorso secolo Galvani, professore di Anatomia nell'Università di Bologna, faceva alcune ricerche sulle rane, di cui lasciava le cosce pendenti per mezzo dei nervi crurali da un pezzo della colonna vertebrale, dopo aver decapitato e denudato l'aninale della sua pelle. Una rana così preparata pendeva da un uncino metallico, quando facendo scoccare una scintilla dal conduttore di una vicina macchina elettrica, si videro le gambe della rana fortemente convellersi. Gli effetti che oggi attribuiamo all'induzione elettrica, allora si volevano prodotti dalle *atmosfere elettriche*, ossia dalle atmosfere di fluido elettrico di cui s'immaginavano circondati i corpi elettrizzati; e perciò Galvani vide in quei convellimenti della rana un effetto dell'atmosfera elettrica del prossimo conduttore della macchina. E volendo sperimentare se l'e-

---

(1) Il carbone si rende buon conduttore riscaldandolo fortemente in vasi chiusi, o spegnendone la combustione, quando è interamente acceso, col chiuderlo in piccoli recipienti.

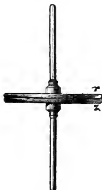
lettricità dell'aria all'aperto potesse fare altrettanto, trasportò la rana sul terrazzo della sua casa, e pose l'uncino da cui pendeva, e ch'era di rame, sul ferro della ringhiera: quando i piedi dell'animale vennero a contatto di quel ferro, i convellimenti si eccitarono; e si rinnovarono ancora, quando tornato nell'interno della casa egli poggiò sopra una lamina di ferro i piedi dell'animale e l'uncino da cui pendeva. Questo sperimento, da lui ripetuto sotto diverse forme, lo indusse a credere che la rana avesse un'elettricità propria, che i fisici posteriori posero fuor di dubbio (1); e che i muscoli ed i nervi agissero come le due armature di una boccia di Leyden, la quale scaricandosi mercè la loro comunicazione metallica produceva le convulsioni del corpo animale.

Dopo che Galvani ebbe pubblicata la sua scoperta, Volta allora professore di Fisica nell'Università di Pavia, si fece a ripetere tutti gli sperimenti del fisico bolognese; e variandoli in mille modi diversi si avvenne in alcuni fatti, i quali anzichè rifermare il concetto di un'elettricità propria della rana, sembravano accennare in vece ad un'elettricità svolta nel contatto dei due metalli differenti di cui soleva formarsi l'arco eccitatore, e la cui eterogeneità quanto giovasse a produrre i convellimenti della rana, era cosa che il Galvani aveva già osservata. Quindi Volta si diede a cercare delle prove che valessero a rifermare il suo concetto sull'origine dell'elettricità galvanica, e dei tanti sperimenti da lui fatti all'uopo gioverà citare quello che segue. Egli prese due dischi *z* ed *r* (*fig. 176*) l'uno di zinco e l'altro di rame, fermati a manubrii isolanti, e dopo averli messi a mutuo contatto, li separò parallelamente l'uno dall'altro, e portò or quello di zinco ed or quello di rame a contatto di un sensibile elettroscopio condensatore; e venne così a conoscere che lo zinco ed il rame toccandosi tra loro si elettrizzano, prendendo il primo elettricità positiva ed il secondo elettricità negativa. Molti altri corpi furono da lui messi a prova, e n'ebbe consimili risultamenti: dimodochè venne a stabilire il principio; *due corpi eterogenei*

(1) Ne diede prova il *galvanometro*, strumento di cui parleremo.

col mutuo contatto si elettrizzano. A suo luogo vedremo se nello stato attuale della scienza il semplice contatto possa riguardarsi come cagione dello svolgimento elettrico: ora non facciamo che raccontar brevemente la storia di una scoperta, che finora non ha l'eguale.

fig. 176



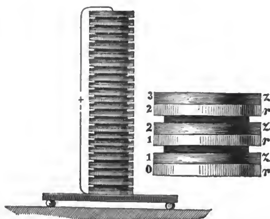
Volta seguiva l'ipotesi di Franklin, vale a dire che riguardava i fenomeni elettrici come effetti del disquilibrio di un certo fluido; e perciò se nel contatto dello zinco col rame trovava il primo *elettropositivo* ed il secondo *elettronegativo*, doveva necessariamente pensare che il fluido elettrico fosse passato dal rame nello zinco. E poichè bisognava una forza per produrre questo passaggio, egli la suppose generata nel contatto dei due metalli e le diede il nome di *forza elettromotrice*. Studiò ancora gli effetti del contatto dei liquidi coi metalli, ed ebbe in generale minore svolgimento elettrico che in quello di soli metalli, dimodochè quando ad una coppia di questi aggiungeva un corpo umido, non ci trovava altro che un veicolo dell'elettrico messo in moto dai primi. Quindi distinse i metalli dai corpi umidi denominando i primi *conduttori di 1ª classe* ed i secondi *conduttori di 2ª classe*.

Dalla conoscenza di questi fatti all'invenzione della pila non c'era da fare che un sol passo. Volta prese una coppia di rame e zinco, comunicante col suolo per mezzo del rame (*fig. 177*), vi soprappose una rotella di cartone bagnato, indi un'altra coppia degli stessi metalli; e ragionò nel seguente modo:

L'elettrico essendo cacciato dal rame nello zinco, questo dovrebbe riuscire elettropositivo, l'altro elettronegativo; ma il rame essendo in comunicazione col suolo riceverà dalla terra tutto l'elettrico che lo zinco gli sottrae: vi sarà dunque movimento di elettrico dalla terra nel rame e da questo nello zinco; movimento che

avrà termine quando alla forza elettromotrice che spinge il fluido dal rame nello zinco, sarà divenuta eguale

fig. 177.



l'opposta tendenza dello stesso fluido a riprendere il primo equilibrio. Allora il rame cessando di spingere l'elettrico nello zinco, ritornerà allo stato naturale per mezzo del fluido che riceve dalla terra, e lo zinco che gli sta sopra si troverà di aver acquistato un eccesso di elettrico che potremo rappresentare col numero 1.

Alla prima coppia sovrapponiamo una rotella di cartone bagnato, indi una seconda coppia ordinata nello stesso modo. Così facendo distruggeremo l'equilibrio ch'erasi stabilito nella 1ª coppia, imperocchè il conduttore umido farà passare porzione dell'elettrico del 1° zinco nel 2° rame, e da questo la forza elettromotrice lo spingerà nel 2° zinco; in conseguenza il 1° zinco non avrà più la quantità di fluido elettrico necessaria ad equilibrare la forza elettromotrice nascente dal suo contatto col 1° rame, e perciò nuovo elettrico dovrà correre dal suolo perchè sia ristabilito l'equilibrio. Il quale avrà luogo quando saranno soddisfatte le tre condizioni — 1ª Che il

rame a contatto col suolo sia allo stato naturale — 2° Che la differenza elettrica sia la stessa tra i due metalli di ciascuna coppia — 3° Che i due dischi separati dal conduttore umido abbiano eguali dosi di elettricità. Vale a dire che l'equilibrio avrà luogo quando nei dischi della 1ª coppia le quantità di apparente elettricità saranno 0 ed 1, ed in quelli della seconda saranno 1 e 2.

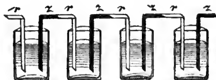
Similmente si troverà che aggiungendo una 3ª coppia, le cariche dei suoi dischi dovranno essere 2 e 3; e che in generale la carica dell'ultimo zinco dovrà essere proporzionale al numero delle coppie. Il quale ultimo risultamento fu verificato da misure che Volta seppe maestrevolmente eseguire coll'elettroscopio di Bennet. E quando egli ebbe trovata la proporzionalità della carica dell'ultimo zinco al numero delle coppie ordinate in colonna o *pila*, immediatamente vide che sarebbe bastato far crescere convenientemente questo numero, perchè un osservatore ponendo le mani a contatto delle due estremità della pila ricevesse una commozione per lo slancio dell'elettrico dall'estremo zinco all'estremo rame. La pila di molte coppie fu costrutta, e la commozione si ebbe.

Abbiamo supposto che la pila comunicasse col suolo per mezzo del 1° disco di rame, e l'abbiamo trovata carica di sola elettricità positiva, crescente dal 1° rame all'ultimo zinco. Invertendo la giacitura delle coppie, la pila avrebbe comunicato col suolo per mezzo del 1° zinco e l'avremmo trovata carica di sola elettricità negativa, crescente dal 1° zinco all'ultimo rame; e se in fine la pila si poggiasse sopra una base isolante, l'avremmo carica di elettricità positiva nella metà terminata dallo zinco, e di elettricità negativa in quella terminata dal rame. In quest'ultimo caso l'elettricità, positiva in una metà e negativa nell'altra, riuscirà crescente dal mezzo della pila verso i dischi estremi, i quali hanno perciò ricevuto il nome di *poli* e vanno distinti in *positivo* e *negativo*. Tutti questi risultamenti, indicati dalla teoria, sono stati rifermati dall'esperienza.

Pila a corona di tazze. 185. La pila a colonna non è tale apparecchio, che una volta allestito si trovi sempre pronto all'uopo. La sua attività (per ragioni che qui appresso diremo) rapi-

damente decresce, dimodochè dopo alquante ore sarà presso che esaurita; e se allora si vorrà farla rinascere, bisognerà disfare interamente la colonna, pulire i dischi perchè ne apparisca la faccia metallica (1), bagnare di nuovo le rotelle, e ricomporre da capo. Tutto ciò richiede un bel pezzo di tempo, e Volta per farne risparmio ideò la *pila a corona di tazze*. La quale (*fig. 178*) si compone di una serie di lamine voltate ad arco, di cui la metà *z*

fig. 178.



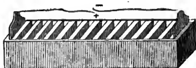
ch'è di zinco, è saldata all'altra metà *r* ch'è di rame. Queste lamine vanno immerse, sempre in un medesimo ordine, dentro bicchieri contenenti acqua acidulata coll'acido solforico, e giova che quelle di zinco siano amalgamate nella parte bagnata dal liquido. Questa pila, com'è chiaro, si allestisce colla massima facilità; e quando nella durata dell'esperimento si mostra scemata di forza, basterà versare poca quantità di acido solforico nell'acqua dei bicchieri per vederla tosto rinvigorita. È grave inconveniente però quello di dover occupare molto spazio, quando si vuol comporla di buon numero di coppie.

186. La pila a truogo non è che la colonna di Volta — Pila a truogo.

(1) Nella pila a colonna i dischi di ciascuna coppia stanno saldati insieme; la qual cosa mentre giova a conservar metalliche le facce di contatto, non porta nocumento alla forza elettromotrice tra i metalli della coppia, imperocchè Volta ha dimostrato che in una serie di metalli messi a mutuo contatto la forza elettromotrice tra il primo e l'ultimo è la stessa che se i due metalli fossero stati ad immediato contatto. Donde poi deduceva esser impossibile formare una pila con soli metalli.

mutata in un parallelepipedo orizzontale. In una cassa di legno (*fig. 179*) e normalmente alla sua lunghezza stanno incavati sul fondo e sulle pareti laterali interne dei solchi a brevi intervalli, nei quali entrano delle coppie di

fig. 179.



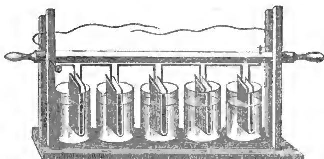
lamine rettangolari di zinco e rame saldate insieme. Dell'acqua acidulata, versata negl'intervalli delle coppie, fa le veci delle rotelle bagnate della pila a colonna, e perciò essa non deve poter passare da un intervallo all'altro: alla qual cosa provvede il mastice, con cui le coppie vengono fermate nei rispettivi solchi.

Secondo questa nuova forma di pila, dovuta a Cruykshanks, sono state costrutte le prime grandi batterie voltaiche. Così nel 1809 fu fatta la grande pila della Società Reale di Londra di 2000 elementi, colla quale Davy potè separare il metallo dall'ossigeno in quei composti che la Chimica denominava *terre*, e con cui produsse per la prima volta il sorprendente fenomeno della *luce elettrica*. Una simile pila di 500 più grandi elementi ebbe più tardi la scuola Politecnica di Parigi dalla munificenza dell'imperatore Napoleone I, e colla quale i due celebri chimici francesi, Gay-Lunac e Thènard, eseguirono importanti ricerche.

Pila di Wollaston. 187. Poco dopo l'invenzione della pila Fabroni in Italia e Gautherot in Francia sostennero che la forza del nuovo apparecchio non sia dovuta al contatto di due metalli eterogenei, ma in vece all'azione chimica del liquido sul metallo più attaccabile della coppia. Quindi si pensò di esporre le due facce dello zinco all'azione dell'acqua acidulata, e così ebbe origine una nuova forma di pila, conosciuta sotto il nome di *pila di Wollaston*, quantunque questo fisico inglese non ne sia stato il primo inventore.

Le coppie di questa nuova pila (*fig. 180*) stanno immerse in altrettanti vasi pieni di acqua acidulata, e sono fatte da una lamina di rame voltata intorno ad una lamina di

fig. 180.



zinco. Le due specie di lamine mercè appendici del loro metallo sono fermate ad una traversa di legno in modo che lo zinco di una coppia si trovi a contatto del rame della coppia seguente, e formano così la vera coppia voltaica.

188. Se con un filo di ferro corto e sottile uniamo i due poli di una pila di Wollaston, e poi facciamo scendere la traversa a cui le coppie stanno fermate, perchè vadano ad immergersi nell'acqua acidulata dei rispettivi bicchieri, vedremo il filo di ferro farsi rovente e fondersi. E se lasciate le coppie nei rispettivi recipienti torniamo ad unire i poli della pila con un filo di ferro eguale al primo, troveremo minore arroventamento; il quale se non perverrà al grado di fondere il filo, lo vedremo scemare fino a sparire del tutto. È questa una prova chiara di rapida diminuzione nella forza della pila. Ma se caviamo le coppie dal bagno, e lasciate per una diecina di minuti esposte all'aria le torniamo poi ad immergere, vedremo fondersi quello stesso filo che prima non ha potuto conservarsi rovente. Donde la pila ha tratto un tale racquisto di forza? Pile di forza costante.

L'acqua nella pila non è, come pretendeva il Volta, un semplice conduttore dell'elettricità, ma mercè l'acido che vi sta disciolto attacca lo zinco che ne prende l'ossigeno, e lascia andar via l'idrogeno. Il quale come elettropositivo, e ne avremo bentosto la prova, corre sul rame della coppia e in parte ne fa neutra l'elettricità negativa e quindi fa scemare la forza della pila. Tolte poi le coppie dal bagno e lasciate esposte all'aria, l'idrogeno è andato via e la pila ha riacquistata la sua forza.

Se dunque si vuol conservare la forza di una pila, fa d'uopo che sia eliminato l'idrogeno nascente dalla scomposizione dell'acqua.

Due metodi si sono perciò ideati, l'uno meccanico, l'altro chimico. Il primo consiste nel rendere scabrosa la superficie dell'elemento elettronegativo, essendochè l'esperienza ha dimostrato che così facendo l'idrogeno non vi si attacca. Questo metodo si vede attuato nella *pila di Sturgeon*, le cui coppie sono formate da vasi cilindrici di ferro fuso, contenenti acqua con $\frac{1}{12}$ di acido solforico, e nella quale vanno immersi dei cilindri di zinco separati dal fondo dei recipienti per mezzo di rotelle di legno.

Il metodo chimico poi consiste nel far trovare all'idrogeno l'ossigeno che gli è necessario per trasformarsi in acqua, prima che esso giunga all'elemento elettronegativo. Un'applicazione di questo metodo si ha nella pila di Bunsen, la quale in ciascuno dei suoi elementi si compone (*fig. 181*) di un recipiente di vetro contenente acqua acidulata, nella quale sta immersa una lamina di zinco, voltata a cilindro perchè vi si chiudesse un vase poroso di terra cotta, in parte pieno di acido nitrico con entro una verga di carbone. Unendo il carbone di un vase col cilindro di zinco del vase seguente si ha la coppia voltaica, che nella pila di Sturgeon si ottiene unendo ogni vase di ferro col cilindro di zinco del vase seguente.

fig. 181.



Or supponiamo messa in azione una pila di Bunsen, e facciamoci a considerare ciò che avverrà

all'idrogeno nascente dalla scomposizione dell'acqua contenuta nel vase di vetro. La sua tendenza sarebbe quella di correre sul carbone, che forma l'elemento elettronegativo della coppia voltaica; ma non può giungervi stante che prima di arrivare al carbone è mutato in acqua combinandosi all'ossigeno che gli amministra l'acido nitrico. E così la pila conserva la sua forza, finchè l'acido non venga ad esser troppo indebolito dall'acqua che continuamente vi si forma.

189. Questa pila si compone di piccoli dischi di carta inargentata, che sul rovescio sono coperti di uno strato di perossido di manganese. I dischi vanno posti l'uno sull'altro in modo che le facce argentate siano a combaciamento con quelle coperte di perossido di manganese, e dopo aver compressa con un torchio la colonna così formata, la si copre di gomma lacca a fine di preservare la carta dall'azione disfacente dell'aria atmosferica.

Pila di Zamboni.

Le pile di Zamboni sono assai deboli, ma conservano indefinitamente la loro carica, essendochè quelle costrutte dallo stesso inventore, che le ideava nel 1812, si mostrano tuttavia elettrizzate. Egli ne fece una bella applicazione ad attuare un moto perpetuo: ne pose verticalmente due a piccola distanza l'una dall'altra e coi poli in ordine inverso, e sospese tra le teste delle due colonne un leggerissimo pendolo, che avviato una volta verso una delle colonne ne veniva attratto, indi respinto verso l'altra, donde era poi nuovamente cacciato verso la prima e così continuava nel suo moto di oscillazione. Di questo pendolo sì servì per dar moto ad un oriuolo espressamente costruito, e che riuscì un soddisfacente misuratore del tempo.

Le stesse pile furono poi adoperate per la costruzione di un eccellente elettroscopio, conosciuto sotto il nome di *elettroscopio di Bohnenberger*. Nel quale in mezzo a due pile, ordinate come nel motore perpetuo, pende una foglia d'oro, attaccata ad un cilindretto metallico che finisce in una pallina. Se toccando questa con un corpo, vedremo la foglia correre verso una delle pile, saremo certi che il corpo sia elettrico, e che possiede elettricità eteronima a quella del polo da cui la foglia è stata at-

tratta. Potremo similmente verificare l'elettricità svolta nel contatto di due metalli differenti.

VII.

Principali effetti della pila e loro conseguenze.

Commozione—Azione chimica — Deviamento dell'ago magnetico. Galvanometro—Resistenza dei circuiti—Misura della conduttibilità—Fenomeni termici—Pile termoelettriche — Sperimento di Peltier—Magnetismo indotto dalle correnti. Correnti indotte dal magnetismo—Correnti indotte da correnti. Estracorrente—Azione della terra su i conduttori delle correnti—Azione reciproca dei conduttori—Teoria amperiana del magnetismo—Fatti che la rifermano—Telegrafia elettrica.

Commozione. 190. Toccando colle mani i poli di una pila a colonna di 50 a 60 coppie, si ha una sensibile scossa specialmente nelle articolazioni delle dita e dei polsi; e continuando a tener le mani su i poli della pila, alla scossa succederà un senso di formicolio, il quale ne avverte che l'azione di una pila, a differenza di quella di una boccia di Leyden, non si estingue col suo primo conato.

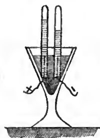
Stando alle idee di Volta sulla natura del potere della pila, quel senso di formicolio sarebbe effetto della forza elettromotrice che pel corpo della pila caccia continuamente l'elettrico dal polo negativo al positivo, quando fuori di essa esiste una via per farlo tornare dal polo positivo al negativo. Dimodochè congiungendo con un filo metallico i due poli di una pila, si viene a chiudere un circuito in cui l'elettrico, turbato nella sua tendenza all'equilibrio dalla forza elettromotrice, sarà costretto a girar sempre per un medesimo verso.

L'elettrico, la forza che lo spinge ed il moto che ne risulta, non sono che ipotesi. Ma nella pila un'azione vi è ed è continua: vi sarebbe per avventura qualche cosa di reale che rispondesse all'ipotesi ideata per dar forma a quest'azione ed alla sua continuità? — Si carichi una pila a colonna col rame in basso, se ne congiungano i poli con un filo metallico, e la si lasci star così per un

pajo di giorni. Indi si scomponga la colonna e si osservino le facce dei dischi di rame; vi si troveranno delle molecole di ossido di zinco. Queste molecole, non avendo potuto venire che dai sottoposti dischi di zinco, hanno avuto bisogno di una forza che le spingesse in direzione opposta a quella della gravità. Nel corpo della pila vi è dunque realmente qualche cosa che spinge la materia ponderabile del polo negativo al positivo — Si prendano due bicchierini, si versi molt'acqua nell'uno, poca nell'altro; e s'immerga il reoforo positivo di una forte pila in quello che contiene maggior quantità di acqua, ed il negativo in quello che ne ha meno. Segnata precedentemente l'altezza dell'acqua in ciascun bicchierino, la si vada ad osservare dopo mezz'ora, si troverà mutata; accresciuta dove era minore, e diminuita dov'era maggiore. Più tardi le due altezze si troveranno eguali; più tardi ancora l'altezza dell'acqua sarà maggiore nel bicchierino che in origine l'aveva minore. Realmente dunque nel filo di congiunzione agisce una forza che spinge dal polo positivo al negativo, ed il circolo immaginato da Volta ha riscontro nei movimenti prodotti dall'azione della pila.

191. La (*fig. 182*) rappresenta un calicetto di vetro in parte pieno di acqua acidulata, e sul cui fondo poggiano due campanelle di cristallo ripiene dello stesso liquido; nelle quali per fori scolpiti nel fondo del calicetto sono introdotte due laminette di platino. Unendo una delle laminette al reoforo positivo di una pila e l'altra al reoforo negativo, vedremo da esse sorgere una serie di bollicine, che riunendosi nella parte superiore delle campanelle, deprimono il liquido che vi è contenuto; e quando i due gas saranno in quantità sufficiente, potremo conoscere colle indicazioni dataci dalla Chimica, che il gas contenuto nella campanella comunicante col reoforo positivo e che presenta un volume metà di quello dell'altro, è *gas ossiggeno* e che il secondo è gas idrogeno. Azione chimica.

fig. 182.



Così la corrente elettrica scompone l'acqua nei suoi elementi, l'ossigeno e l'idrogeno, ed egualmente agirebbe sopra ogni altro composto binario, qualora avesse la forza all'uopo necessaria.

Or l'ossigeno per essere attratto dal polo positivo di una pila deve avere elettricità negativa, e l'idrogeno che va al polo negativo, deve averla positiva. Perciò i chimici danno all'ossigeno l'aggiunto di *elettronegativo* ed all'idrogeno quello di *elettropositivo*; e poichè di ogni composto binario, sottoposto all'azione di una bastevole corrente elettrica, va sempre un elemento al polo positivo e l'altro al polo negativo, così in ogni composto binario vi è sempre un elemento elettronegativo, ed un elemento elettropositivo.

Poichè la quantità di acqua che la pila può decomporre in un dato tempo, deve avere una ragion diretta colla forza della corrente, così all'apparecchio ora descritto si è dato il nome di *voltametro*, ossia *misuratore della forza di una pila voltaica*. Ed all'uopo essendo indifferente che i due gas si raccolgano uniti o separati, giova che il voltametro sia composto da una sola campanella graduata, nella cui base entrino le due laminette di platino, le quali messe l'una vicina all'altra renderanno meno difficile il passaggio della corrente.

La doratura, l'argentatura, la zincatura, ec. operate per mezzo della corrente elettrica poggiano sul principio che regge la scomposizione dei composti binarii. Se sottoponiamo, per esempio, un cloruro metallico all'azione di una pila, il metallo si porterà sul polo negativo; volendo dunque dorare un pezzo di rame, basterà immergerlo in una soluzione di cloruro di oro, unirlo al polo negativo di una pila, e chiudere il circuito coll'altro polo; così l'oro verrà deponendosi sul rame e lo lascerà dorato. E così la scienza ha reso innocuo un mestiere, a cui per lo innanzi nessuno poteva addirsi senza rovinare la propria salute.

Dallo stesso principio è derivata ancora la *Galvanoplastica*, ossia l'arte di ritrarre un'incisione, un basso rilievo, ecc. mercè uno strato di rame che la corrente elettrica vi depone. Con questo metodo sono stati ese-

guiti dei grandi lavori; così Soyer, abile fonditore, ha copiati i bassi rilievi che ornano il piedistallo della statua di Guttemberg, e lo scultore Stigelmayer non solamente ha coperto di rame delle statue colossali di gesso, dando ad esse l'apparenza di bellissime statue di bronzo, ma ha saputo riprodurre ancora con mirabile esattezza le forme di piccoli oggetti, come fiori, insetti, ecc.

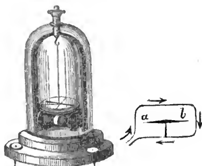
Deviamento dell'ago magnetico. Galvanometro.

192. Situando un filo metallico superiormente ed in direzione parallela all'ago di una bussola, ed immettendovi una corrente elettrica che vada da sud a nord, vedremo il polo boreale dell'ago deviare a ponente del suo meridiano. Avrebbe in vece deviato a levante se il filo si fosse trovato sottoposto all'ago magnètico; e se nelle due posizioni del filo la corrente lo avesse percorso da nord a sud, i deviamenti dell'ago sarebbero stati del tutto opposti. E perchè si potessero facilmente ricordare queste relazioni che lo spostamento dell'ago ha colla varia direzione della corrente e colla sua diversa giacitura rispetto al filo che la conduce, gioverà aver presente la seguente regola dataci da Ampère — *Si figuri l'osservatore di star disteso sul conduttore ed in modo che avendo il viso rivolto all'ago la corrente gli vada dai piedi alla testa, egli vedrà sempre il polo nord dell'ago deviato verso la sua sinistra.*

Il deviamento dell'ago dal suo meridiano dovendo avere una relazione di grandezza colla forza della corrente che lo produce, si è pensato farne un mezzo di misura di essa corrente, e così n'è venuta l'invenzione dello strumento denominato *galvanometro*. Per comprenderne la costruzione, figuriamoci un filo di rame piegato in un rettangolo verticale intorno all'ago calamitato *ab* (*fig. 183*), e percorso da una corrente elettrica pel verso indicato dalle frecce: è chiaro che stando alla regola amperiana la corrente in tutti i lati del rettangolo spinge l'ago a deviare da un medesimo lato del meridiano magnetico. Uno strumento che coll'aggiunta di un quadrante graduato per misurare i gradi di deviamento, contenesse un simile rettangolo con in mezzo un ago magnetico sospeso o sostenuto, formerebbe il *galvanometro semplice*, così denominato perchè il filo vi forma un solo giro.

Ma se la corrente va per un filo metallico abbastanza lungo perchè di quel rettangolo sopra detto se ne potessero far parecchi, allora l'effetto sull'ago sarebbe in certo modo proporzionale al numero dei giri fatti dal filo, e da ciò l'aggiunto di *moltiplicatore* dato a questa nuova specie di galvanometro. Il quale (*fig. 183*) si compone di un telajo di avorio o di altra sostanza mal conduttrice, in-

fig. 183



torno a cui sta avvolto un filo di rame vestito di seta, affinchè la corrente non passi da una spira all'altra senz'averne percorso l'intero giro. Il gomitolo così formato, è diviso in due per lasciare che passi il filo che deve tener sospeso l'ago magnetico in mezzo alle sue spire, e va unito coi capi estremi a due perni di ottone piantati sulla base dell'istrumento. A quell'ago poi ne sta fermato parallelamente un altro di ottone, che girando sopra un quadrante graduato soprapposto al telajo, fa conoscere di quanti gradi sia deviato il primo.

Se la corrente elettrica tende a deviare l'ago dal suo meridiano, la forza direttrice (n° 166) del magnetismo terrestre lo spinge viceversa a ritornarvi; e perciò quando l'ago sotto l'azione di una data corrente ha preso una stabile posizione, saremo certi che in quel luogo si fanno equilibrio le opposte forze della corrente e del magnetis-

mo terrestre. In conseguenza se si avesse un mezzo di scemare la forza direttrice senza diminuire il magnetismo dell'ago, il deviamento riuscirebbe più grande, e si verrebbe così ad accrescere la sensibilità dell'istrumento. Ciò si ottiene ponendo in vece dell'indice di ottone un secondo ago magnetico in modo, che i suoi poli sieno opposti a quelli dell'ago interno; imperocchè così facendo la forza direttrice risulta eguale alla differenza delle azioni con cui spinge i due aghi. I quali se avessero eguale magnetismo, la forza direttrice del loro sistema sarebbe nulla, e lo vedremmo porsi costantemente ad angolo retto colla direzione delle spire, qualunque fosse la forza della corrente. Quindi è che giova dare all'ago indice un magnetismo minore di quell'altro; e secondo che sarà minore o maggiore la loro differenza magnetica, più o meno grande riuscirà la sensibilità dell'istrumento.

Ad un simile sistema di due aghi magnetici si è dato l'aggiunto di *astatico* che a rigore gli converrebbe nel solo caso dell'eguale magnetismo degli aghi, imperocchè la parola *astatico* vuol dire *privo di tendenza ad equilibrio stabile*.

193. Se dopo aver introdotto un galvanometro nel circuito di una pila di forza costante ed aver preso nota del deviamento patito dall'ago, accresciamo la lunghezza del circuito coll'aggiungervi un filo di rame lungo 40 metri, vedremo il deviamento dell'ago farsi minore. Dunque una corrente elettrica nel percorrere un dato circuito incontra una certa resistenza, che la fa scemare di forza e quindi di azione sull'ago magnetico. Resistenza dei circuiti.

Or se al filo di 40 metri ne sostituiamo un altro dello stesso metallo, ma che sia lungo 10 metri ed abbia un diametro metà e quindi un'area di sezione 4ª parte di quella del primo, troveremo nell'ago magnetico la stessa diminuzione di deviamento ottenuta coll'introduzione del primo filo. I due fili han dunque presentato eguali resistenze al moto elettrico. Ma la resistenza che il circuito oppone al moto di una corrente, non può concepirsi (date tutte le altre cose eguali) se non come direttamente proporzionale alla lunghezza di esso circuito. Se dunque il filo di 40 metri e quello di 10 metri hanno presentato

eguali resistenze, bisogna dire che l'area di sezione 4 volte minore nel secondo filo sia stata cagione di farvi incontrare una resistenza 4 volte più grande. Laonde possiamo conchiudere in generale che:

La resistenza al moto della corrente elettrica nei circuiti di una stessa natura, è proporzionale direttamente alla lunghezza del circuito ed inversamente alla sua area di sezione.

Ma se due circuiti di lunghezze ed aree di sezione eguali, fossero di natura diversa, è chiaro che una corrente non incontrerebbe eguali resistenze, qualora la sostanza di cui è fatto uno dei circuiti conducesse l'elettrico meglio che quella dell'altro. Or l'idea di miglior conduttibilità si confonde con quella di minor resistenza: e perciò dicendo che la resistenza di un circuito debba riuscire inversamente proporzionale al suo potere conduttore, noi enunciamo una verità evidente. Quindi è che possiamo riassumere la legge delle resistenze dei circuiti nella formola:

La resistenza che una corrente elettrica incontra nel percorrere un dato circuito, è proporzionale direttamente alla lunghezza del circuito, ed inversamente al prodotto dell' area di sezione pel potere conduttore.

Questa legge ci dà il mezzo di poter valutare l'influenza che la conduttibilità, la lunghezza ed il diametro del filo galvanometro esercitano sulla sensibilità dell'istrumento. Che il filo debba essere di sostanza che conduca assai bene e debba avere un grosso diametro, è cosa che si capisce immediatamente, essendochè queste due condizioni tendono a far passare la quantità di corrente possibilmente maggiore, e quindi a produrre più grande deviamento dell'ago. A tal uopo si è scelto il rame, metallo buon conduttore (come nel seguente n° vedremo) delle correnti elettriche, e che a buon mercato si ottiene puro specialmente di sostanze magnetiche che turberebbero i movimenti dell'ago. E quanto a doppiezza del filo non ci è ragione di limitarla in un galvanometro semplice; ma per un galvanometro moltiplicatore è necessario che il diametro del filo abbia una certa ragione inversa col numero delle spire, imperocchè giova lasciarle vicine al-

l'ago più che sia possibile. Trattandosi, a modo di esempio, di un centinajo e mezzo di spire, ordinate in tre o quattro suoli, l'uno all'altro soprapposti, il filo potrà avere quasi un millimetro di diametro; ed un galvanometro di questa specie conviene alle correnti termoelettriche, di cui parleremo in seguito. Ma per un elemento voltaico, in cui la presenza di un liquido fa che la resistenza sia grande, il filo galvanometrico vuol essere lungo e sottile abbastanza perchè si possa avvolgere un seicento volte intorno al telajo senza che l'ultima falda di spire si trovi molto lontana dall'ago. E se in fine si vuole un galvanometro che serva per l'ordinaria macchina elettrica, la cui resistenza è fatta grandissima dall'interposto disco di vetro, ci bisogna un filo sottilissimo, lungo più che due chilometri per farne un diciottomila giri, dopo averlo coperto non solamente di seta, come per gli altri galvanometri, ma eziandio di uno strato di vernice isolante. E la ragione per cui il filo dev'essere più lungo e più sottile come l'elettromotore è più resistente, sta riposta in ciò che l'accrescimento di azione sull'ago in conseguenza di un maggior numero di spire arriva tanto più tardi ad esser eguagliata dall'aumentata resistenza del circuito, quanto quella dell'elettromotore è più grande.

Misura del potere conduttore.

194. Mercè la legge enunciata nel n° precedente si possono determinare i poteri conduttori dei diversi corpi. Sceltone uno come unità di potere conduttore, lo s'introduca sotto forma di filo nel circuito di una pila a forza costante nel quale siavi già un galvanometro, e si prenda nota del deviamento definitivo dell'ago. A questo primo filo si sostituisca quello della sostanza, di cui si vuol conoscere la conduttibilità, e se ne ponga tale lunghezza da ricondurre l'ago galvanometrico allo stesso grado di prima. Avremo così due fili, che diversi in lunghezze, aree di sezione e poteri conduttori, hanno purtuttavia presentato eguali resistenze; e poichè la resistenza di un corpo al moto della corrente dev'essere rappresentata, in conseguenza della suddetta legge, dal quoziente della sua lunghezza divisa pel prodotto dell'area di sezione pel potere conduttore; così indicando con $1, s$ ed l il potere conduttore, l'area di sezione la lunghezza del

primo filo, e con c, s' ed l' le omonime quantità rispetto al secondo filo, avremo:

$$\frac{l}{s}=\frac{l'}{cs'};$$

dalla quale relazione è facile dedurre il valore della conduttibilità c del secondo filo. Così sono stati ottenuti i poteri conduttori registrati nella seguente tavola, in cui si è preso ad unità il potere conduttore del mercurio.

Nomi delle sostanze.	*Conduttibilità.*
Mercurio	1
Ferro	7
Platino	8,55
Rame puro	38,38
— ricotto	38,42
Oro puro	39,75
— a 951 di fino	13,38
— a 751 —	7,14
Argento a 963 di fino	51,52
— a 900 —	47,53
— a 857 —	42,21
— a 747 —	38,82
Palladio	57,91

E da questa tavola si rileva come il difetto di purezza faccia rapidamente decrescere il potere conduttore di un metallo.

Fenomeni termici. 195. La resistenza che i circuiti oppongono al moto della corrente elettrica, fa che ne vengano riscaldati e tanto più quanto maggiormente resistono. Chiudendo il circolo di una pila con una catena di fili metallici di eguali lunghezze ed aree di sezione, ma di diversa natura, si troverà che ne saranno vieppiù riscaldati quelli che sono men buoni conduttori. E poichè la resistenza cresce col far divenire minore l'area di sezione, così si vede chiara la ragione per cui i fili metallici interposti nel circolo elettrico, ne vengano arroventati e talora fusi, quando sono assai sottili. Wollaston con uno degli elementi voltaici che portano il suo nome, e che non era

più grande di un ditale, ottenne l'arroventamento di un filo di platino estremamente sottile.

Allorchè la palla lanciata da un fucile incontra una tavola od altro oggetto non molto resistente, cacciasi d'innanzi una parte dell'ostacolo e procede per la sua via. Un simile fenomeno ci presenta la corrente elettrica. Si congiungano i due reofori di una pila di una ventina di coppie di Bunsen, mercè due verghette di carbone impiantate nei loro estremi, e dopo stabilito il circuito si allontani di poco una verghetta dall'altra, si vedrà tra le loro punte sorgere una luce abbagliante accompagnata da intenso calore. Questo sviluppo di luce e calore è conseguenza dell'ostacolo che la separazione delle punte di carbone ha opposto al moto elettrico già cominciato, e che l'impeto della corrente ha vinto cacciandosi d'innanzi le molecole estreme del carbone congiunto al reoforo positivo, per trasportarle sul carbone unito al reoforo negativo. Chiudendo le due verghette di carbone in un recipiente di cristallo vuoto di aria, o chiuso in modo che nuovo ossigeno non possa entrarvi dopo essersi consumato quel poco che ci era, il trasporto del carbone dall'uno all'altro polo riuscirà visibile all'occhio armato di un apparecchio d'ingrandimento.

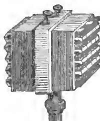
196. Si prendano due verghette, l'una di bismuto l'altra di antimonio, si saldino per le loro basi, e dell'unica verghetta che ne risulta si uniscano le estremità ai capi di un galvanometro e si riscaldi il luogo della saldatura; l'ago galvanometrico sarà deviato, ed indicherà una corrente diretta dal bismuto all'antimonio. Se in vece la saldatura fosse stata raffreddata, la corrente sarebbe andata dall'antimonio al bismuto; quindi se saldiamo una serie di verghette degli stessi metalli nell'ordine *bismuto-antimonio-bismuto-antimonio*, ecc., e riscaldiamo tutte le saldature di ordine impari o raffreddiamo tutte le saldature di ordine pari, avremo una vera pila, perchè una corrente procederà per essa dal 1° bismuto all'ultimo antimonio, e che dal modo di eccitamento è denominata *pila termo elettrica*. **Pile termoelettriche. Sperimento di Peltier.**

Il bismuto e l'antimonio non sono i soli metalli che possono formar coppie termoelettriche; l'oro l'argento,

il platino, il rame, l'ottone, il piombo, ecc., possono ancora servire al medesimo fine, sia accoppiandoli al bismuto o all'antimonio, sia accoppiandoli tra loro; con una pila di 200 elementi, ferro e platino, si è ottenuta la scomposizione dell'acqua. Però le pile bismuto ed antimonio sono quelle che per minima differenza di calore tra i due ordini di saldature danno una sensibile corrente elettrica.

Questa maniera di eccitamento elettrico fu trovata da Seebeck nel 1821; indi Nobili, invertendo l'obbiettivo della scoperta, inventò il *termomoltiplicatore*, strumento destinato a rilevare la differenza di calore tra i due ordini di saldature mercè la grandezza della corrente che n'è prodotta. Ed all'uopo egli componeva la pila con verghette di bismuto ed antimonio saldate a *zig-zag* per averne un modo di prisma che offrisse nelle sue basi i due ordini di saldature. Questa pila fu poi perfezionata da Melloni, che con essa accrebbe di capitali scoperte la dottrina del calore: così modificata ed a grandezza del vero si vede rappresentata nella (*fig. 184*).

fig. 184



Un fatto, che a suo luogo faremo vedere quanta importanza si abbia, è quello scoverto da Peltier, il quale ha trovato che immettendo in una coppia termo-elettrica una corrente che vada dal bismuto all'antimonio, la saldatura che li unisce, si raffredda; e si riscalda in vece, se la corrente vi proceda in opposta direzione. Vale a dire che il transito della corrente produce nella saldatura una variazione termica diametralmente opposta a quella che bisognerebbe indurvi, perchè si generasse una corrente diretta come quella che vi è stata introdotta.

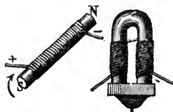
Magnetismo indotto dalle correnti. E correnti indotte dal magnetismo.

197. Si ponga a contatto di poca limatura di ferro un filo di rame congiungente i poli di una pila, e si vedrà la limatura restarvi aderente finchè il moto elettrico percorre il filo. Esaminando la posizione di quei granelli di li-

matura, si troverà che essi si son messi di traverso al filo, non altrimente che avrebbe fatto un ago calamitato. Quei granelli han dunque acquistata la polarità magnetica per opera della corrente elettrica.

Dietro la scoperta di questo fatto è surta l'idea delle elettrocamite, ossia di magnetizzare per mezzo di una corrente elettrica. Si prenda una verghetta di ferro (*fig. 185*) ed avvoltovi intorno ed a più giri un filo di rame vestito di seta, lo si faccia percorrere da una corrente elettrica; il ferro prenderà subito un forte magnetismo, i cui poli si troveranno ordinati conformemente alla regola di Ampère (n° 192). Nella citata fig. si vede a sinistra un' elettrocalamita rettilinea, ed a destra un'altra voltata a ferro di cavallo.

fig. 185.



Le elettrocalamite si fanno di ferro dolce, il quale prende vigoroso magnetismo sotto l'azione della corrente, e ne rimane del tutto privo al cessare di questa. Ma per mezzo della corrente si possono ottenere delle vigorose calamite permanenti, facendo scorrere a più riprese da un capo all'altro della verga di acciaio, che si vuol calamitare, un anello fatto da parecchi giri di un filo di rame vestito di seta, che unisca i due poli di una pila; avvertendo però a non voler interrompere il circolo voltaico, se non quando l'anello si trovi nel mezzo della verga.

Se la corrente elettrica può magnetizzare, il magnetismo viceversa può generare una corrente elettrica. Ed in vero, si congiungano ad un galvanometro i due capi del filo avvolto intorno alle branche di un' elettrocalamita a ferro di cavallo, e si portino a contatto delle sue estremità quelle di una consimile calamita permanente; l'ago galvanometrico sarà tosto deviato, e così avremo la prova che il magnetismo indotto nel ferro dell'elettrocalamita, ha generato una corrente elettrica nel filo che la circonda. Però questa corrente ha brevissima durata, impe-

rocchè basterà lasciare in contatto le due calamite, perchè l'ago dopo alquante oscillazioni torni al suo primo equilibrio. E se dopo che ciò sia avvenuto, staccheremo una calamita dall'altra, l'ago tornerà a muoversi ma pel verso opposto, vale a dire che il distacco ha prodotto una corrente contraria alla prima.

Or facendoci ad esaminare per qual verso abbia camminato la prima corrente, troveremo ch'essa ha seguita una direzione, opposta a quella che avrebbe dovuta tenere per produrre quella stessa polarità, ch'è stata indotta dalla calamita permanente; e perciò specificando coll'aggiunto d'*inversa* la prima corrente e con quello *di diretta* la seconda, diremo che:

In un circuito chiuso il magnetismo nascente *genera una corrente inversa, ed il magnetismo* evanescente *una corrente diretta.*

Perciò avviene che chiudendo nel circuito di un elemento voltaico un'elettrocalamita ed un *reotomo* (1) si veggano ad ogn'interruzione del circuito scintille più grandi di quelle che si avrebbero senza l'introduzione dell'elettrocalamita: e se ai punti di congiunzione del reotomo col circolo voltaico si attacchino per mezzo di fili conduttori due manubrii metallici, impugnandoli si avrà in ogni distacco una forte scossa. Sì nell'uno che nell'altro sperimento il dippiù di forza prodotto dall'elettrocalamita, va dovuto alla corrente che nell'interruzione essa invia pel medesimo verso per cui procede quella della pila.

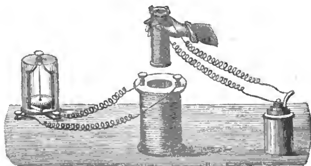
Correnti indotte da correnti. Estra-corrente. 198. Intorno ad un cilindro cavo di legno (*fig. 186*) sta avvolto un filo di rame vestito di seta, i cui capi sono uniti a quelli di un galvanometro; un altro cilindro simile, e che può entrare nella cavità del primo, tiene unite le estremità del suo filo a poli di una coppia voltaica. Introducendo il secondo cilindro nel primo, l'ago del galvanometro sarà deviato indicando una corrente inversa di quella della pila, ed una corrente diretta nel momento che il secondo cilindro viene estratto dal primo.

---

(1) La voce *reotomo* suona *interruttore di corrente*, e dinota un apparecchio in cui una ruota dentata, appoggiata ad una molla, col suo moto rapidamente interrompe e ristabilisce un circuito elettrico.

Lo stesso sperimento può farsi ancora nel seguente modo. S'introduca il piccolo cilindro nel grande, e si unisca

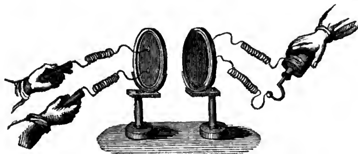
fig. 186.



un capo solo del suo filo ad un polo della coppia; chiudendo il circuito coll'altro capo del filo, il galvanometro indicherà una corrente inversa, ed una corrente diretta si avrà, quando il circuito sarà interrotto.

Nè ciò avviene soltanto colla corrente voltaica. La (*fig. 187*) rappresenta due spirali piatte di filo di rame

fig. 187.

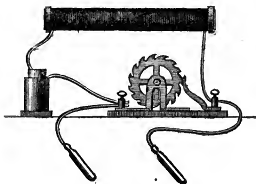


vestito di seta, e che vanno messe quasi a combaciarsi

l'una coll'altra. Ai capi di una spirale stanno attaccati due manubrii metallici, che fanno provare una scossa a chi l'impugna, quando una boccia di Leyden è scaricata pel filo dell'altra spirale. Questa ha dunque indotta una corrente nella prima.

Ed anche nello stesso suo circuito una corrente ne induce due altre; una nella chiusura del circuito ed è inversa, l'altra nell'interruzione ed è diretta. Entrambe vanno sotto il nome comune di *estracorrente*; ed alla seconda va in gran parte dovuto l'effetto dell'apparecchio rappresentato dalla (*fig. 188*). Una spirale di filo di rame vestito di seta tiene unito un capo ad uno dei poli di una

fig. 188.

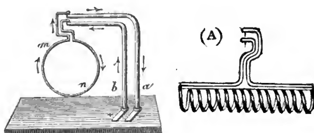


coppia voltaica, e l'altro capo ad una vite che per mezzo di una molla che preme contro una ruota dentata, chiude il circolo coll'altro polo della pila. Nei due punti di attacco che si lasciano in mezzo la ruota dentata, stanno fermati i fili che sostengono due manubrii; i quali impugnati dallo sperimentatore, mentre altri fa girare la ruota, gli fanno provare una scossa ad ogn'interruzione del circuito.

Azione della terra su i conduttori delle correnti. 199. Due colonnette di ottone *a* e *b* (*fig. 189*) stanno impiantate sopra una base di legno, ed in cima a cia-

scuna di esse è fermato un braccio orizzontale che finisce sostenendo una piccola coppa piena di mercurio. Nelle

fig. 189.



due coppe entrano due punte di acciajo congiunte ai capi del filo di rame, di cui è fatto il conduttore *mn*, che in tal modo è reso girevole intorno ad asse verticale; ed alle basi delle colonne stanno unite due laminette di rame che finiscono in due pozzetti di mercurio scavati sul legno della base, o vanno congiunte a due viti di pressione. Immergendo nei pozzetti i due reofori di una pila, il conduttore *mn* sarà percorso dalla corrente elettrica, e lo vedremo da sè dirigere verso levante il lato su cui la corrente discende, ed a ponente quello pel quale la corrente sale; e se meccanicamente sia da tale posizione allontanato, lo vedremo ritornarvi con una serie di oscillazioni, le quali ci chiariranno esser quella una posizione di equilibrio stabile.

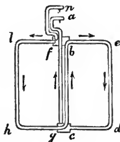
Sostituendo ad *mn* il conduttore A ,. formato da una spirale di filo di rame, attaccata ad un'assicella di legno, troveremo che essa avrà equilibrio stabile, quando l'asse della spirale giacerà nel meridiano magnetico del suo punto di sospensione, e la corrente sarà discendente sul lato orientale delle sue spire ed ascendente sul lato occidentale. E se allora le avviciniamo una verga calamitata od un'altra spirale similmente percorsa da corrente

elettrica, vedremo riprodursi gli stessi fenomeni di attrazione e ripulsione che presentano le calamite.

Azione reciproca dei conduttori.

200. Per osservare l'azione reciproca dei conduttori delle correnti giova sospendere all'apparecchio della (*fig.* *189*) il conduttore rappresentato dalla (*fig.* *190*), nel quale il filo di rame piegato secondo le lettere *acd*... presenta tanto nelle porzioni verticali interne che nelle esterne, delle correnti dirette per un medesimo verso, e che in conseguenza ne fanno un sistema astatico. Così il moto che il conduttore sospeso potrà manifestare nell'avvicinamento di un altro conduttore, saremo certi che andrà dovuto all'azione reciproca dei due conduttori, non potendo l'azione direttrice della terra avervi alcuna parte.

fig. *190*.



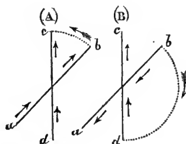
Sospenderemo dunque il conduttore 190 all'apparecchio della *fig.* *189*, e dopo avervi immessa una corrente elettrica, avvicineremo parallelamente ad uno qualunque dei suoi lati *cd* o *lh* un altro conduttore rettilineo della stessa o di altra corrente, e troveremo che il conduttore sospeso sarà attratto o ripulso secondo che nei due conduttori le correnti procederanno per un medesimo verso o in direzioni opposte. E da ciò la regola;

I conduttori paralleli si attraggono o si ripellono, secondo che le correnti vi procedono per un medesimo verso o per verso opposto.

Sopra una base di legno siano scolpiti due canaletti circolari, che nella (*fig.* *191*) sono indicati dalle linee punteggiate *bc* e *bd*; si empiano di mercurio, e vi s'immergano, piegandone i capi, le estremità dei fili metallici *cd* ed *ab*, dei quali il primo è fisso, ed il secondo è mobile intorno ad un asse verticale impiantato nel mezzo del primo. Ponendo in comunicazione il mercurio dei canaletti coi poli di una pila, è chiaro che la corrente

dividendosi pei due fili passerà da un canaletto all'altro. Or se il filo mobile *ab* si pone rispetto al filo fisso *cd*, come è rappresentato in (A), si vedrà *ab* attratto da *cd*; e se pongasi in vece, come viene indicato in B, si vedrà *ab* ripulso da *cd*: e si osservi che in (A) le correnti vanno tutte due, o tutte due vengono dal vertice dell'angolo acuto formato dai due fili, e che in (B) mentre una corrente va verso il vertice di quell'angolo, l'altra ne viene. Quindi la regola:

fig. 191.



Due conduttori incrociati si attraggono, quando le correnti da cui sono percorsi, vanno tutte due, o tutte due vengono dal vertice dell'angolo che essi formano; ed in vece si ripellono, quando una delle correnti va verso il vertice dello stesso angolo, e l'altra ne viene.

Or se compariamo queste mutue azioni dei conduttori di corrente elettrica all'azione direttrice che la Terra vi esercita e che abbiamo indicata nel n° precedente, comprenderemo come sia surta la idea di una continua corrente elettrica terrestre la quale si muova intorno al nostro Globo seguendo il cammino apparente del Sole, cioè da levante a ponente. A fondamento della quale idea sta poi il principio tacitamente ammesso, che ogni movimento di attrazione o ripulsione che si osserva in un conduttore di corrente non possa venir prodotto se non dell'azione di una corrente che percorre un altro non lontano conduttore.

Teoria amperiana del magnetismo. Fatti che la rifermano.

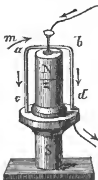
201. Sappiamo (n° 199) che una corrente la quale percorre una spirale cilindrica, che in tal caso prende il nome di *cilindro elettrodinamico*, fa che questo si orienti come l'ago di una bussola, e che abbia similmente due poli i quali ripellono gli omonimi poli di una calamita o

di altro cilindro elettrodinamico, e ne attraggono gli eteronimi. Da queste analogie Ampère fu condotto a dover riguardare le calamite come altrettante *solenoidi* (parola che suona *simili a tubi*), nelle quali un sistema di correnti circolari fa che esse trovino nel meridiano magnetico quell'equilibrio stabile che v'incontra un cilindro elettrodinamico.

E stando a questa idea, le correnti circolari costituenti il magnetismo di un ago dovranno andar discendenti sul suo lato orientale, correre da levante a ponente sulla sua faccia inferiore, ascendere pel lato occidentale, e finalmente compiere il loro circolo col muoversi da ponente a levante sulla faccia superiore dell'ago.

Or questa necessaria deduzione della teoria amperiana sulla natura del magnetismo ha somministrato il mezzo di sottoporla alla sanzione dell'esperienza. Imperocchè componendo degli apparecchi, in cui le immaginate correnti di una calamita s'incontrassero ad angolo con quella di un conduttore rettilineo, si è potuto osservare, rendendo mobile il conduttore o la calamita, se un moto di rotazione abbia luogo, e se sia diretto secondo che la teoria delle correnti incrociate lo richiede. Un apparecchio di questa specie è rappresentato dalla (*fig. 192*). Si compone di una calamita cilindrica NS che ha in alto il polo boreale e l'australe in basso, e di un conduttore mobile formato dal filo di ferro *cabd*, che si mantiene in bilico intorno alla calamita, poggiando con una punta sulla sua base superiore. Il lato *ab* del filo metallico porta nel suo mezzo una piccola coppa piena di mercurio, in cui si fa pescare uno dei reofori di una pila, mentre l'altro è in comunicazione col mercurio contenuto nella vaschetta annulare che si vede fermata alla calamita, e nella quale stanno immersi i capi del filo conduttore. Facendo che il reoforo immerso nella piccola coppa sia quello unito al polo positivo della pila, vedre-

fig. 192.



mo il conduttore girare da dritta a sinistra, come per l'appunto dovrebbe fare, se conformemente alla teoria esistesse nella calamita una corrente diretta da sinistra a dritta. Ed in vero consideriamo il lato *ac* del conduttore (*fig. 193*) pel quale discende la corrente *t*: la porzione *z* della corrente propria della calamita lo attira a sinistra, perchè *t* e *z* convergono al vertice dell'angolo formato dalle loro direzioni, mentre la porzione *z'* della stessa corrente, che si allontana dal vertice dell'angolo quando *t* vi si avvicina, lo respinge. Il conduttore dunque dovrà rotare da destra a sinistra, come indica la freccia *n*.

fig. 193.



Nel caso poi che il conduttore *ac* fosse fermo, e la calamita mobile intorno al suo asse polare, allora conservando l'ipotesi di una corrente che discenda lungo il conduttore, questo attirando il lato sinistro della calamita e ripellendo il destro, la farebbe rotare da sinistra a destra, come il fatto ha confermato.

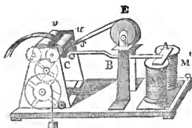
200. Una delle più utili applicazioni della pila voltaica è senza dubbio quella di far servire alla Telegrafia la grandissima celerità della corrente elettrica, e la sua efficacia a magnetizzare il ferro e quindi a produrre a grande distanza una forza meccanica. Oggi si possono tener corrispondenze tra l'Europa e l'America impiegando un tempo minore di quello che prima di avere il telegrafo elettrico bisognava per luoghi distanti non più che 100 chilometri. Telegrafia elettrica.

Per dare un'idea di questa importante applicazione della corrente elettrica, basterà indicare sommariamente la costruzione e l'uso di uno dei telegrafi elettrici più generalmente adoperati, qual'è quello che il professore americano Morse inventava nel 1837.

Questo telegrafo si compone di due parti il *registro* e la *chiave*. Nel registro, rappresentato dalla *fig. 194*, sono da considerarsi primieramente le due elettrocalamite M ed M', sulle quali riposerebbe l'ancora attaccata al-

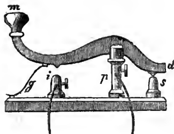
l'estremo A della leva ABC, se questa verso l'altra estremità C. in cui porta la punta di acciajo s, non fosse ritenuta da una spirale elastica. Quando la corrente entra nelle spire delle elettrocalamite, queste si magnetizzano, l'ancora è attratta non ostante la resistenza della spirale, e la punta *s* preme contro la striscia di carta, che pel moto comunicato ai due cilindri *u* e *v* da un congegno di orologeria, è svolta dal cilindro E intorno a cui trovasi avvolta, ed è menata innanzi. Se la corrente non agisce che per un istante sulle elettrocalamite M ed M', istantanea ancora sarà la pressione della punta *s* sulla striscia di carta, ed il segno ivi lasciato sarà quello di un punto: ma se la corrente avrà una durata più o meno lunga, più o meno lungo sarà il tratto che la punta *s* segnerà sulla carta; ed è facile intendere come combinando variamente i tratti coi punti si possano aver segni sufficienti per rappresentare le lettere dell'alfabeto, gl'intervalli, i punti, le virgole ecc.

fig. 194.



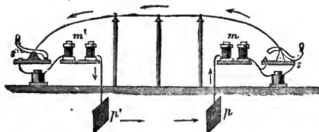
A regolare il tempo, per cui la corrente deve camminare per le spire delle elettrocalamite, serve appunto la chiave, rappresentata dalla *fig. 195*. È una leva metallica mobile intorno all'asse *b* e che termina nel manubrio *m*. Essa per mezzo della molla *g* è mantenuta coll'estremità *d* a contatto della colonnetta *s*; e finchè si trova in questa posizione, rimane interrotto il circuito della pila, i cui

fig. 195.



reofori vanno congiunti alle colonnette metalliche *i* e *p*. Ma quando, impugnato il manubrio *m*, il telegrafista urta la leva contro la colonnetta *i*. il circuito è chiuso, e secondo la durata del contatto egli farà che la punta s del registro (*fig.* *194*) segni linee o punti.

fig. *196*.



La *fig.* *196* rappresenta due stazioni telegrafiche provviste ciascuna di registro e chiave. Vi si veggono i registri *m* ed *m'*, le chiavi s ed *s'*, ed il filo telegrafico sostenuto da pali e che per mezzo delle lamine metalliche *p* , *p'* poste sotterra, chiude od interrompe il circuito tra una pila e le quattro calamite, secondochè una delle chiavi agisce o entrambe si lascino inerti. La fig. ci rappresenta il circuito chiuso per opera della chiave *s*, la quale con ripetuti colpi stampa sul registro *m* e riproduce sul registro *m'* il dispaccio che si vuol trasmettere dalla prima stazione alla seconda.

CALORE.

I.

Storia del termometro.

Termometro di Galilei — Termometro degli Accademici del Cimento — Scale termometriche — Termometro a massimo e minimo — Termometro di Breguet — Termometro di Borda.

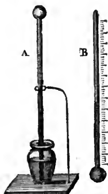
Termometro di Galilei. 201. Ognuno sa che cosa voglia dire *sentir caldo* o *sentir freddo*, ed è noto ancora per quante gradazioni differenti queste sensazioni possono variare. Riflettendovi un poco si viene poi a scoprire che non sono due agenti diversi quelli che in noi le producono, ma che il corpo, che troviamo *freddo*, in realtà non è che *meno caldo* del corpo nostro. Non vi è dunque che un solo agente produttore delle sensazioni di *caldo* e *freddo*, ed a questo agente diamo il nome di *calore*.

Questo agente, che in seguito apprenderemo a meglio conoscere, può produrre effetti che in grandezza sono assai diversi, così che di molti fenomeni la cagione sta riposta in una maggiore o minor azione termica di un corpo sull'altro. Bisognerebbe dunque avere qualche strumento che di quest'azione ci facesse valutare il *più* o il *meno*: questo strumento esiste ed è nominato *termometro*, parola tolta dal greco e che vale *misura del calore*.

Il primo termometro fu costrutto da Galilei. Il quale prese un cannello di vetro terminato da una pallina, e v'introdusse un poco di acqua, la quale cacciandone al-

trettanto di aria fece che quando il tubo fu capovolto ed immerso l'orifizio in un piccolo recipiente [*fig. 197* (A)] dello stesso liquido, questo vi rimase più alto che all'esterno. Così ebbe nella colonna liquida sollevata un indice che coll'abbassarsi od elevarsi faceva conoscere la maggiore o minore espansione dell'aria contenuta nella pallina e rimanente porzione del tubo, e quindi il maggiore o minor calore dello spazio ambiente.

fig. 197.



Termometro degli Accademici del Cimento.

202. Quando Galilei costruiva il primo termometro, che diremo *termometro ad aria* perchè l'aria era quella che colle variazioni del suo volume faceva conoscere i cangiamenti del calore, la pressione atmosferica era ignota, e se ne attribuivano gli effetti ad un preteso orrore della Natura pel vuoto. Ma dopo che Torricelli l'ebbe scoverta, tosto si comprese che le mutazioni di altezza della colonna liquida nel tubo termometrico potevano dipendere tanto dall'essere più o meno caldo l'ambiente, quanto da una pressione più meno forte sul liquido esterno, essendosi già trovato dallo stesso Torricelli che la pressione dell'aria può variare da un momento all'altro.

A toglier di mezzo questo grave difetto gli Accademici del Cimento fecero che l'acqua, la quale nel termometro di Galilei non serviva che da indice, divenisse il vero corpo termometrico; e perciò riempiendone la pallina e porzione del tubo ottennero nei cangiamenti di altezza della colonna liquida, che col calore si allungava e col freddo si accorciava, un mezzo per conoscere le mutazioni termiche dello spazio ambiente, senza che la varia pressione atmosferica potesse recarvi sensibili alterazioni. Senonchè, la pallina del termometro restando rotta al primo ghiacciare dell'acqua nell'inverno, essi vi sostituirono lo spirito di vino, che si conserva liquido anche nei climi di massimo freddo.

Più tardi venne in uso il mercurio come corpo termometrico; ed oggi abbiamo termometri a mercurio e termometri a spirito di vino, ma non è cosa indifferente l'adoperar l'una o l'altra specie di termometro, come in seguito avremo occasione di osservare.

Scale termometriche.

203. Per conoscere se in un dato istante il calore del mezzo ambiente sia maggiore, eguale o minore di quello ch'è stato in altro tempo, si è pensato di segnare sul cannello stesso del termometro, o sulla tavoletta a cui suol esser fermato, delle linee equidistanti, tirate perpendicolarmente all'asse del tubo. Queste linee formano la *scala* del termometro, la quale non può essere arbitraria nè pel punto da cui deve cominciarsi a contare e che si appella lo *zero* della scala, nè per la grandezza degl' intervalli eguali delle linee, e che si dicono *gradi*; imperocchè se queste due cose fossero stabilite a piacere di ciascun osservatore, per mero azzardo, quasi impossibile a verificarsi, due termometri in identiche circostanze potrebbero indicare uno stesso grado di calore, o come suol dirsi una stessa *temperatura*.

Prima però di esporre la regola all' uopo adottata, è necessario premettere alcune nozioni. Supponiamo che il corpo termometrico sia il mercurio, e che riempitane la pallina e buona parte del cannello (1), le si circondino

(1) I tubi ad uso di termometri hanno sempre un diametro interno così piccolo, ch'è impossibile versarvi del mercurio. Per far che questo ci entri, e vada a cadere nella pallina soffiata all'altra estremità del tubo, si avvolge prossimamente all'orifizio del cannello una strisciolina di carta voltata a modo d'imbuto e vi si ferma un qualche giro di filo. Versando un pò di mercurio in quell' imbuto, e poi riscaldando la pallina colla fiamma di una lucerna a spirito di vino, gran parte dell' aria interna viene espulsa attraverso il mercurio, e questo è spinto dalla pressione esterna ad entrare nel tubo, ed ivi camminare fino a cadere dentro la pallina.

Se si trattasse di fare un termometro a spirito di vino, la cosa sarebbe assai più facile, imperocchè basterebbe riscaldare abbastanza la pallina, e poi immergere l'orifizio del tubo nello spirito di vino, perchè questo spinto a salire dalla pressione esterna corresse a riempire la pallina.

di ghiaccio pesto; si attenda che il mercurio abbia presa la sua definitiva contrazione pel raffreddamento prodottovi dal ghiaccio, e si prenda nota del punto in cui la colonna liquida si sarà arrestata nel cannello. Si rifaccia la prova sullo stesso termometro ma in luoghi e stagioni diverse, e si troverà che quando l'ambiente è caldo abbastanza per promovere la fusione del ghiaccio, il mercurio nel cannello si abbasserà sempre allo stesso punto. Dunque:

Il grado di calore del ghiaccio, che va liquefacendosi, è lo stesso in ogni luogo ed in ogni tempo.

E non faccia meraviglia se riconosciamo nel ghiaccio, che si fonde, una certa dose di calore; imperocchè è noto che per formare il sorbetto la neve si rende più fredda col mescolarla ad una certa quantità di sal comune, ed un corpo, che può rendersi più freddo, deve necessariamente contenere una certa quantità di calore.

Immergiamo lo stesso termometro nell'acqua bollente, e vedremo il mercurio pel calore comunicatogli dall'acqua salire rapidamente nel cannello fino ad una certa altezza, ed ivi rimanere immobile, comunque l'ebollizione si rendesse più impetuosa per accresciuto calore del fornello. Ciò vuol dire che l'acqua può riscaldarsi fino a bollire, ma che una volta entrata in ebollizione non può divenire più calda. Questo calore però è più o meno grande, secondo che il barometro segna una pressione maggiore o minore. Della qual cosa è facile convincersi, facendo bollire contemporaneamente due porzioni di una stessa acqua, l'una in mezzo alla via, l'altra su di un'alta terrazza; il termometro dirà che la prima è più calda della seconda, ed è noto (n° 76) che la pressione atmosferica sul primo luogo è maggiore che sul secondo. Dunque:

Se la pressione atmosferica è costante, costante ancora sarà il grado di calore dell'acqua bollente.

Con questi due dati potremo costruire la scala termometrica in modo che quando più termometri in luoghi o in tempi diversi segneranno eguali temperature, potremo esser certi che le corrispondenti quantità di calore saranno ancora eguali. Imperocchè basterà segnare sopra ciascun termometro il punto a cui la colonna di mercu-

rio è discesa per l'immersione nel ghiaccio che si fonde, e l'altro a cui si eleva per l'azione dell'acqua bollente sotto una data pressione, e dividerne l'intervallo in un costante numero di parti eguali. I punti del ghiaccio che si fonde e dell'acqua bollente si dicono *punti fissi* della scala, e la pressione che si è scelta per la determinazione del calore dell'acqua bollente, è quella rappresentata dall'altezza barometrica di 28 pollici del piede francese ossia di 760 millimetri.

Tre numeri diversi ed in epoche differenti sono stati prescelti per la divisione in parti eguali dell'intervallo che separa i due punti fissi di una scala termometrica. Ne sono nate in conseguenza tre scale diverse, conosciute sotto i nomi di *scala di Réaumur*, *scala centigrada* o *di Celsus*, e *scala Fahrenheit*.

L'intervallo dei punti fissi è diviso in 80 parti eguali nella scala di Réaumur ed in 100 nella scala di Celsus; e da ciò il nome di *ottantigrada* dato alla prima scala, e quello di *centigrada* alla seconda.

Nella scala poi di Fahrenheit, la più antica delle tre, l'intervallo dei punti fissi è diviso in 180 parti eguali, e lo zero sta situato per 32 di queste parti sotto il punto di fusione del ghiaccio; dimodochè questo punto trovasi al 32mo grado della scala, e quello dell'acqua bollente è segnato col n° 212.

Qualunque però sia la scala termometrica, le temperature date da gradi inferiori allo zero della scala sono indicate col porre il segno — avanti al numero. Volendo per esempio esprimere che il liquido termometrico è disceso di 12° sotto lo zero, si dirà che la temperatura è stata — 12°.

Facilissima cosa è poi trovare dei gradi, dati sopra una delle tre scale, l'equivalente sopra una delle altre due. Poniamo, a modo di esempio, che si voglia conoscere quanti gradi centigradi corrispondono a 28 Réaumur. Indicando con x il richiesto numero dei centigradi, avremo la proporzione:

$$x : 28 :: 100 : 80 :: 5 : 4\,;$$

donde :

$$x = \frac{28.5}{4} = 35^{\circ}.$$

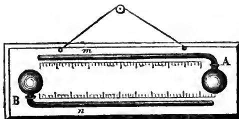
Vale a dire che per determinare il numero dei centigradi equivalenti ad un dato numero di gradi Réaumur, bisogna moltiplicar questi per 5 e dividerne il prodotto per 4. E viceversa i centigradi moltiplicati per 4 e poi divisi per 5, ci daranno l'equivalente temperatura valutata sulla scala di Réaumur.

E similmente moltiplicando gli ottantigradi ed i centigradi per 9; dividendo i primi per 4 ed i secondi per 5, ed aggiungendovi in fine 32, li avremo tradotti in gradi della scala Fahrenheit; e questi saranno tradotti in ottantigradi o centigradi, se dopo averli diminuiti di 32, li moltiplichiamo per 4 o per 5, ed i prodotti li dividiamo per 9.

Termometro a massimo e minimo.

204. Sarebbe cosa assai incomoda il voler determinare direttamente il massimo freddo invernale ed il massimo calore estivo, ed intanto queste temperature estreme sono elementi necessarii per definire il clima di un luogo. Varii termometri sono stati all'uopo ideati, ma noi ci limiteremo a descrivere quello inventato da Rutheford. Si compone di due termometri, A e B (*fig. 198*), il primo a mercurio, il secondo a spirito di vino, e che ordinaria-

fig. 198.



mente stanno fermati ad una sola tavoletta. Nella parte vuota del cannello del primo termometro giace un cilindretto *m* di acciajo, e nella colonna liquida dell'altro termometro vi è uno stecchetto *n* di smalto. Crescendo la temperatura, il mercurio si dilata e spinge innanzi il piccolo cilindro di acciajo, e quando il liquido raggiunta la

massima dilatazione comincia a contrarsi, lascia il pezzetto di acciajo nel luogo in cui cessò di spingerlo, ed ivi l'osservatore legge sulla scala il grado massimo a cui il calore è pervenuto dopo la precedente osservazione. Il pezzetto poi di smalto che si trova nello spirito di vino del termometro B, è trascinato dal liquido nella sua contrazione, ma non lo segue nella sua dilatazione, e perciò nel luogo in cui è restato, l'osservatore legge il massimo freddo avvenuto nel frattempo. E dopo fatta la lettura del massimo e minimo calore, bisogna lasciare l'istrumento apparecchiato ad una nuova osservazione; la qual cosa si ottiene elevando un poco il lato sinistro della tavoletta, e poi rimettendola in sito, imperocchè così facendo il pezzetto di acciaio cade sulla colonna di mercurio del rispettivo termometro, e l'altro di smalto, scorrendo per la colonna liquida contenuta nel cannello termometrico, cade sulla concavità terminale della stessa ed ivi si ferma. Così gl'indici vengono restituiti nei punti da cui debbono cominciare i loro movimenti.

Termometro di Bréguet. 205. L'esperienza dimostra che i corpi, che sono di diversa natura, diversamente si dilatano per accresciuto calore. Quindi è che se soprapponiamo una verga di rame ad un'altra di platino egualmente lunga, ne fermiamo gli estremi con chiodi a vite, e così unite le immergiamo nell'acqua bollente o le circondiamo di neve pesta, vedremo il loro sistema uscir incurvato dal bagno, avendo una concavità dal lato del platino o del rame secondo che il bagno sarà stato quello dell'acqua bollente o della neve pesta. Ciò deriva da che il rame più che il platino si dilata pel caldo e si contrae pel freddo.

Su questo principio è costrutto il termometro di Bréguet. È fatto di una sottile lamina metallica girata ad elica (*fig. 199*), e composta di tre metalli differenti, argento oro e platino, soprapposti l'uno all'altro e ridotti ad una fettuccia per opera di un laminatojo. La spirale è fermata superiormente ad una colonnetta di sospensione, e porta nell'estremità inferiore un indice leggiero, scorrevole sulla circonferenza di un circolo, sulla quale stanno segnati i gradi di temperatura. La dilatabilità dei tre metalli componenti quella fettuccia, essendo crescente dal

platino all'argento, se poniamo che quest'ultimo si trovi sul lato convesso della spirale ed il platino sul concavo, avremo che l'accrescimento del calore stringendo le spire della lamina farà girare l'indice per un verso, e la sua diminuzione coll'allargarle lo farà girare pel verso contrario.

fig. 199.



Ciò che rende pregevole il termometro di Bréguet è la prontezza delle sue indicazioni nei fugaci cangiamenti di temperatura del mezzo ambiente; la qual cosa va dovuta alla piccola spessezza congiunta alla non poca superficie che la lamina presenta al mezzo in cui si trova.

206. Talvolta fa d'uopo misurare direttamente e con estrema precisione la distanza di due punti della superficie terrestre lontani di qualche chilometro l'uno dall'altro. All'uopo suole adoperarsi una verga metallica che dovrebbe avere una lunghezza invariabile durante il tempo di una sì delicata operazione; ma per quanto si faccia a sottrarre la verga dall'azione diretta dei raggi solari, non si potrà poi guarentirla dal calore comunicato all'aria e variabile secondo le ore del giorno. Se si potesse sapere, ogni volta che si passa da una gittata all'altra, quale sia la sua vera temperatura, sarebbe agevole cosa quella di conoscere l'alterazione della sua lunghezza; ma coll'applicarvi un ordinario termometro, non potremmo venirne a capo. Perciò Borda pensò fare in modo che la verga potesse dire essa stessa quale sia il suo grado di calore. Poniamo che la sia di platino e che sopra vi stia adagiata e fermata in uno dei capi una verga di rame alquanto più corta. Immergendo le due verghe prima in un bagno di neve e poi in un altro di acqua bollente, l'estremità libera della verga di rame non si resterà allo stesso luogo su quella di platino; e perciò se quelle due posizioni vengano marcate con un sottilissimo solco, e che

Termometro di Borda.

similmente sia diviso in 100 parti eguali il loro intervallo, basterà vedere mercè una lente a qual segno vada l'estremità libera della verga di rame per conoscere il grado di temperatura di tutte due.

II.

Coefficienti di dilatazione.

Definizioni — Determinazione dei coefficienti di dilatazione dei solidi e dei liquidi — Pendolo compensatore — Coefficiente di dilatazione degli aeriformi — Zero assoluto.

Definizioni. 207. — *Dilatazione lineare e cubica* — È noto (n° 13) che tutti i corpi riscaldandosi si dilatano, vale a dire che tutti i corpi col divenire più caldi prendono un volume maggiore. Ma talvolta anzichè l'accrescimento del loro volume c'importa conoscere quello di una sola loro dimensione. Poniamo ad esempio che sotto diverse temperature abbiamo misurato due lunghezze con una medesima riga metrica; è chiaro che senza una correzione relativa alla lunghezza della riga i numeri ottenuti non saranno tra loro comparabili. La dilatazione considerata in una sola dimensione dicesi *lineare*, e se la riguardiamo nelle tre dimensioni dicesi *cubica*.

— *Dilatazione uniforme e varia* — Vi sono corpi la cui dilatazione è proporzionale all'accrescimento della loro temperatura, ve ne sono altri pei quali una simile proporzionalità non esiste. I primi si dicono avere dilatazione *uniforme*, i secondi hanno dilatazione *varia*: così tra i limiti di temperatura 0° e 100° è uniforme la dilatazione dei metalli, è varia quella dell'acqua.

— *Coefficiente di dilatazione* — È chiaro che conoscendo il volume di un corpo che ha dilatazione uniforme, e la quantità di cui si accresce l'unità del suo volume per l'aumento di un grado di temperatura, potremo determinare di quanto il corpo siasi dilatato in conseguenza di un dato accrescimento di calore. L'aumento che acquista l'unità di volume del corpo per essersi accresciuta di un grado la sua temperatura, si denomina *coefficiente di dilatazione cubica*, e quello avvenuto nell'unità della sua lunghezza si denomina *coefficiente di dilatazione lineare*.

I corpi poi che hanno dilatazione varia, non possono ammettere che un *coefficiente medio* di dilatazione, il quale sarà tanto meno divergente dal vero, per quanto più vicini tra loro saranno stati i limiti di temperatura tra cui si è cercato.

E per le sostanze, quali sono le amorfe, che si dilatano egualmente per ogni verso, la Matematica ha trovato un'importante relazione tra il coefficiente della loro dilatazione cubica e quello della dilatazione lineare, ed è che il primo è triplo del secondo. Così sapendosi che la dilatazione lineare dal ferro da 0° a 100° è di $\frac{1}{846}$ della sua lunghezza a 0°, sarà $\frac{1}{282}$ del suo volume a 0° la dilatazione cubica del ferro nel medesimo intervallo di temperatura.

— *Dilatazione apparente ed assoluta* — Quando il mercurio per aumento di temperatura s'innalza nel cannello di un termometro, quell'apparente accrescimento del suo volume non è che l'eccesso della sua vera dilatazione su quella del suo recipiente. E che questo colla sua dilatazione faccia apparir minore quella del liquido contenuto, possiamo averne una facile prova. Si empi di acqua il bulbo e parte del cannello di un tubo termometrico che abbia la pallina abbastanza grande, e si prenda nota dell'altezza del liquido; s'immerga celeramente la pallina in un'acqua bollente, e si vedrà il liquido nel cannello prima discendere e poi salire. Quella discesa è avvenuta, perchè il calore dell'acqua bollente ha dilatata la pallina prima di giungere al liquido che vi stava dentro.

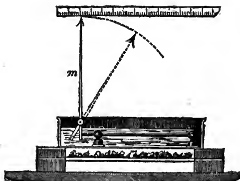
I liquidi dunque e gli aeriformi, avendo un volume definito dalla capacità dei loro recipienti, debbono di necessità mostrarsi meno dilatabili di quel che realmente sono; e la differenza dovrà riuscire tanto più notevole, per quanto più dilatabile sarà la sostanza dei loro recipienti. Quindi se esistesse un liquido che in dilatazione pareggiasse il vetro, un termometro fatto con questo liquido rimarrebbe inerte in tutti i cangiamenti di temperatura, imperocchè il liquido dilatandosi egualmente che la pallina e la porzione del cannello che n'è occupata, la colonna termometrica non avrebbe motivo di salire o scendere; e se il liquido fosse meno dilatabile del

vetro, col freddo salirebbe nel cannello termometrico e col calore scenderebbe.

Determinazione dei coefficienti di dilatazione dei solidi e dei liquidi.

208. L'apparecchio rappresentato dalla (*fig. 200*) può darci un'idea del come sieno stati determinati i coefficienti di dilatazione lineare di parecchi metalli e di alcune specie di vetro. In una caldaja di forma rettangolare giace

fig. 200.



il corpo da sperimentarsi, ridotto a forma di verga, la quale appoggiandosi al sostegno A, passa per un foro scolpito nella colonnetta B, e preme contro il braccio corto dell'indice *m* mobile intorno all'asse orizzontale C. Riempiendo la caldaja di neve pesta, la verga prenderà la temperatura 0°; ed allora si terrà nota del punto che l'estremità del braccio lungo dell'indice segnerà sopra una riga divisa in millimetri e fissata orizzontalmente. Indi la caldaja sarà riempita di acqua, che mercè di un sottoposto fornello verrà portata all' ebollizione, e quando l' indice avrà cessato di muoversi, si prenderà nota della divisione a cui si sarà fermato sulla riga. Si avrà così la quantità di cammino fatto orizzontalmente dall' indice mentre la verga è passata da 0° a 100°; e quel cammino sta al vero allungamento della verga come la lunghezza del braccio maggiore dell'indice a quella del suo braccio minore.

Se dunque conosciamo il rapporto dei due bracci dell'indice, potremo determinare di quanto la verga si è allungata passando da 0° a 100°; e se dopo esserci assicurati della sua uniforme dilatazione, divideremo il totale allungamento per 100, e questa 100ª parte compareremo alla lunghezza della verga, avremo il richiesto coefficiente della sua dilatazione lineare; e se in fine moltiplicheremo questo coefficiente per 3, avremo quello della dilatazione cubica.

Pei liquidi poi, essendovi due sorte di dilatazione, l'*apparente* e l'*assoluta*, vi sono ancora due sorte di coefficienti. Volendo definire quello della dilatazione apparente si è proceduto nel seguente modo:

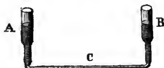
Si è scelto un tubo di vetro, perfettamente cilindrico nell'interno, affinchè dividendolo in parti di eguali lunghezze riuscisse diviso in parti di eguali capacità; e vi si è aggiunta (soffiandola o saldandola) una pallina piuttosto grande. Si è pesato l'apparecchio vuoto, si è pesato di nuovo dopo aver riempita la pallina di mercurio, e si è tornato a pesare dopo aver empita di mercurio anche una porzione del tubo; si è sottratto dal secondo peso il primo, e si è avuto il peso del mercurio contenuto nella sola pallina; si è sottratto dal terzo peso il secondo, il resto si è diviso pel numero delle divisioni occupate dal mercurio nel tubo, e si è avuto il peso del mercurio contenuto in una sola divisione: il rapporto di questo peso a quello del mercurio contenuto nella sola pallina ha fatto conoscere quello delle loro capacità.

Apparecchiato così l'esperimento, si riempirà la pallina e porzione del tubo col liquido, di cui si vuol conoscere la dilatazione apparente. Indi si circonderà di neve pesta la parte occupata dal liquido, ed allorchè questo avrà preso il suo assetto nel bagno freddo, la già nota relazione della capacità della pallina a quella di una divisione del tubo farà conoscere il volume apparente del liquido alla temperatura 0°. Poi s'immergerà l'apparecchio in un bagno caldo, che supponiamo di 60°, e si determinerà similmente il volume apparente del liquido a questa temperatura. Si sottrarrà dal volume del liquido a 60° quello che aveva a 0°, si dividerà la differenza per 60; e fa-

cendo di questo quoziente il numeratore di un fratto, il cui denominatore sia il volume che il liquido aveva a 0°, si avrà il coefficiente della dilatazione cubica apparente di esso liquido nel vetro. A questo modo Lavoisier e Laplace trovarono che il mercurio in un tubo termometrico si dilata per ogni grado della scala centesimale di $\frac{1}{6300}$ del suo volume a 0°.

Il principio idrostatico (n° 73) che nei vasi comunicanti le altezze delle colonne liquide debbano seguire la ragione inversa delle loro densità, ha somministrato uno dei mezzi adoperati per determinare la dilatazione cubica assoluta di un liquido. Per ottenere quella del mercurio si è fatto così — Si è diviso in due un tubo di vetro di sufficiente apertura e perfettamente calibrato, e le due parti A e B (*fig. 101*) si sono unite mercè il tubo capillare C. Situato orizzontalmente questo tubo di comunicazione ed eretti verticalmente gli altri due, vi si è introdotto del mercurio fino ad una certa altezza. Si è circondato il braccio A di neve pesta, e si è fatto entrare il braccio B in un cilindro pieno di acqua o di olio, e che poi si è riscaldato ad un certo grado di calore. Poichè l'estremità di B sporgeva per apposito foro dal coperchio del cilindro, così per mezzo di uno strumento, denominato *catetometro* (misuratore delle altezze) si son potute determinare quelle del mercurio nei tubi A e B, le quali non potevano riuscire eguali, stante che in A si trovava mercurio più denso di quello contenuto in B, e che la capillarità del tubo C non faceva mescolare insieme. Conosciute quelle altezze, si è potuto facilmente determinare il coefficiente della dilatazione cubica assoluta del mercurio; imperocchè le altezze dovendo seguire la ragione inversa delle densità, e queste l'inversa dei volumi, si aveva che le altezze erano direttamente proporzionali ai volumi. Laonde indicando con v_t ed a_t il volume e l'altezza del mercurio nel braccio B riscaldato ad una certa temperatura

fig. 201.



che diciamo t, e con v_0 ed a_0 il volume e l'altezza del mercurio nel braccio A, conservato alla temperatura 0° dalla neve pesta dond'era circondato, si aveva la proporzione:

$$v_t : v_0 :: a_t : a_0 ;$$

dalla quale mercè quell'operazione, che nella teorica delle proporzioni si appella *dividere*, si aveva:

$$\frac{v_t - v_0}{v_0} = \frac{a_t - a_0}{a_0}.$$

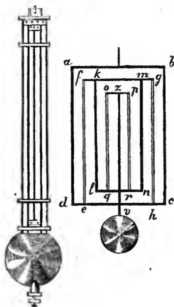
Ora il fratto $\frac{v_t - v_0}{v_0}$ indica di qual parte del volume, che aveva a 0°, si è dilatato il mercurio nel passare alla temperatura t. Di questa parte il secondo fratto ne dava l'espressione numerica, la quale divisa per la quantità t dei gradi di temperatura, fece conoscere qual fosse il coefficiente della dilatazione cubica assoluta del mercurio. Così Dulong e Petit trovarono che questo liquido per ogni grado tra 0° e 100° si dilata di $\frac{1}{5550}$ del suo volume a 0°.

209. Nel n° 42 abbiamo indicata la relazione ch'esiste tra la lunghezza del pendolo semplice e la durata di una sua oscillazione, quando vada per un arco abbastanza piccolo; e nel n° 44 abbiamo esposto in qual modo si può avere la lunghezza del pendolo semplice, sincrono ad un dato pendolo composto. Or dalla definizione ivi data del centro di oscillazione risulta che la distanza di questo punto dall'asse di sospensione dev'essere, nei pendoli perfettamente simili, una frazione costante della loro lunghezza; e quindi di un valore assoluto più o meno grande secondo che più o meno grande sarà la lunghezza del pendolo. La quale variando nei mutamenti di temperatura proporzionatamente alle altre dimensioni del pendolo, fa che questo rimanga sempre simile a sè stesso, ed abbia in conseguenza il suo centro di oscillazione più o meno lontano dall'asse di sospensione, secondo che più o meno elevato sarà il grado del calore. Il pendolo dunque deve andar più lento col caldo, e più celere col freddo.

Pendolo compensatore.

Stando così le cose, un'esatta misura del tempo per mezzo del pendolo sarebbe impossibile se non si fosse inventato il *pendolo compensatore*, il quale da sè stesso si accorcia quando il calore lo farebbe allungare, e si allunga quando il freddo tende ad accorciarlo. Tal'è il pendolo rappresentato nel lato sinistro della *fig. 202*, nella quale a destra le verghe componenti il pendolo stanno messe più lontane di quel che sono, a fine di meglio chiarirne l'uso. Vi si osserva primieramente un telajo *abcd*, il quale è fatto con bacchetta di ferro, e sostiene le due colonnette di ottone *ef*, *hg*, unite dalla traversa di ferro *fg*. Da questa pende un secondo telajo di ferro *klnm* che similmente sostiene le due colonnette di ottone, *qo* ed *rp* unite dall'asta di ferro *op*; al cui punto medio è fermata la verga di ferro *zv*, la quale passando per fori scolpiti sulle traverse *ln* e *dc*, porta sospesa la lente del pendolo. Così, quando il calore allungando le aste di ferro farebbe scendere la lente del pendolo, l'opposto allungamento delle aste di ottone la solleva di altrettanto, e fa che la sua distanza dal punto di sospensione del pendolo resti sempre la stessa. La quistione, com'è chiaro, sta nel definire le lunghezze delle aste di ottone, perchè il loro allungamento pareggi quello delle aste di ferro. La Matematica ha trovato che la semisomma delle prime dev'essere eguale ad una volta e mezzo

fig. 202.



la lunghezza di tutto il pendolo; e da ciò la necessità di non poter adoperare meno di 4 aste di ottone e 5 di ferro.

A questo pendolo compensatore interamente solido è che vedesi applicato a diversi orologi, è intanto da preferirsi quello che ottiene la sua compensazione mercè un recipiente di mercurio, il quale lasciando variare la lunghezza del pendolo, fa che la distanza del suo centro di oscillazione dall'asse di sospensione resti sempre la stessa. Questo pendolo, rappresentato nella *fig.* **203**, si compone di un'asta di ferro, che in basso allargandosi a modo di staffa, accoglie un vase cilindrico di vetro pieno di mercurio a tale altezza, che di quanto l'allungamento dell'asta di ferro farebbe scendere il centro di oscillazione, di altrettanto la colonna di mercurio tende ad elevarlo colla sua dilatazione. Ciò che rende preferibile questo modo di compensazione, è la possibilità di spingerla ad una matematica esattezza col far variare di quantità presso che infinitesime l'altezza del mercurio nel suo recipiente.

fig. **203.**



210. Basta applicare la palma della mano sulla pallina di un termometro ad aria per convincersi della grande dilatabilità di questo corpo; ed intanto nessun altro corpo ha presentato per la determinazione del suo coefficiente di dilatazione tanta difficoltà quanta se n'è incontrata nell'aria. Si cominciò dall'avere per uniforme la sua dilatazione, ma poi non tardarono a sorgere dei forti dubbii, che furono più tardi interamente dileguati dal Volta, il quale trovò per coefficiente tra 0° e 100° il fratto 0,0037. Indi dietro ricerche di Gay-Lusac in Francia e Dalton in Inghilterra il fratto trovato da Volta acquistò un'altra cifra decimale e divenne 0,00375. Questo medesimo numero fu adottato più tardi da Dulong e Petit non solamente per l'aria ma per tutti i gas in generale, ed in questa sentenza erano convenuti tutti i fisici fino a circa trent'anni fa, quando lo svedese Rudberg, e poi Magnus a Berlino Coefficiente di dilatazione degli aeriformi.

e Regnault a Parigi trovarono che il coefficiente adottato era maggiore del vero e che non era lo stesso per tutti i corpi aeriformi. Del resto, siccome le differenze che si son trovate non sono di molto rilievo, si potrà tenere come di sufficiente approssimazione il fratto $\frac{1}{273}$ per rappresentare di quanto il volume di un gas a 0° si accresce per ogni grado della scala centesimale.

Lo zero assoluto. 211. La forza elastica dell'aria sotto una pressione costante si accresce o diminuisce secondo che per variazione di temperatura si rende più o meno grande il suo volume. Perciò se dinotiamo con E_t la forza elastica dell'aria alla temperatura di t gradi sotto lo zero termometrico, e con E_0 la forza elastica a 0°, e poniamo eguale all'unità il volume dell'aria a quest'ultima temperatura, volume che diverrà $1-\frac{t}{273}$ a t gradi sotto zero, avremo la proporzione:

$$E_t : E_0 :: 1-\tfrac{t}{273} : 1 ;$$

donde:

$$E_t = E_0 \left(1-\tfrac{t}{273}\right).$$

Or se all'aria potessimo togliere tutto il calore che essa possiede, è chiaro che allora la sua forza elastica sarebbe nulla, ed in conseguenza avremmo $E_t=0$. E divenuta nulla E_t, necessariamente dovrà essere $1-\frac{t}{273}=0$, e perciò $t=273$. Dunque a 273° sotto zero, ossia a -273°, l'aria dovrebbe essere affatto priva di calore.

La temperatura -273° a cui dovrebbe scendere un corpo, qualora divenisse assolutamente privo di calore, costituisce quel punto della scala termometrica a cui si è dato il nome di *zero assoluto*. E quantunque sia impossibile di poterlo raggiungere, purtuttavia il grado -273° quale ultimo limite di raffreddamento deve ritenersi come a sufficienza verificato mercè talune considerazioni che non possono trovar luogo in un'opera di questa fatta.

III.

Capacità termiche.

Definizione — Capacità termiche dei solidi e liquidi — Pregi del termometro a mercurio — Capacità termiche dei gas.

212. Riscaldare un corpo vuol dire riscaldare ciascuna delle sue molecole; e perciò se bisognano due chilogrammi di carbone per portare da 0° a 50° una data quantità di acqua, ne bisogneranno quattro per una quantità doppia dello stesso liquido. Laonde il primo dato per giudicare la quantità di calore posseduta da un corpo è la massa dello stesso corpo. Definizioni.

Un secondo dato, ricevuto dalla scienza dietro considerazioni sull'insieme dei fenomeni termici, è che l'accrescimento di calore di un corpo debba essere proporzionale all'accrescimento della sua temperatura.

Laonde se prendiamo come unità quella quantità di calore che eleva di un grado la temperatura dell'unità di massa di un corpo, quella che innalzerà di t gradi m unità di massa, dovrà essere espressa dal prodotto del numero t moltiplicato pel numero m.

Or la quantità di calore, necessaria ad elevare di un grado la temperatura dell'unità di massa di un corpo, non è costante ma varia da un corpo all'altro; imperocchè se così non fosse, un chilogramma di ferro a 11° immerso in un chilogramma di acqua a 0°, dovrebbe elevarne la temperatura a 5 gradi e mezzo, mentre nel fatto non la innalza che da 0° ad 1°.

La quantità di calore che fa d'uopo comunicare ad un corpo, perchè la temperatura dell'unità della sua massa si elevi di un grado, si denomina *calore specifico* dello stesso corpo; e questo calore specifico ci dà la misura della *capacità termica*, essendochè il corpo che ha maggior calore specifico, è riguardato come un più ampio recipiente di calore. Intanto le espressioni, *calore specifico* e *capacità termica*, perchè di uno stesso valore numerico, vengono adoperate come se fossero sinonime.

Capacità termiche dei solidi e dei liquidi.

213. Mercè l'immersione di un corpo caldo in una data quantità di acqua lo svedese Blak scopriva verso la metà dello scorso secolo l'esistenza del calore specifico; e questo processo, che lo ha fatto conoscere per alcuni corpi, è divenuto poi sotto il nome di *metodo delle mescolanze* un mezzo per cercarlo in tutti gli altri.

La determinazione del calore specifico di un corpo, come quella di ogni altra grandezza, suppone la scelta di un'unità; la quale pel modo stesso della scoverta era naturale che fosse riposta nella quantità di calore bisognevole ad elevare un chilogramma di acqua da 0° ad 1°. A questa unità si è dato il nome di *caloria*.

Nè alla scelta soltanto dell'unità, ma a talune avvertenze bisogna ancora por mente, perchè gravi errori non abbiano luogo nella determinazione delle capacità termiche. Così volendo usare il metodo delle mescolanze fa d'uopo — 1° Che il recipiente abbia, rispetto al volume che racchiude, la minima superficie esterna, affinchè minima ancora sia la dispersione del calore comunicato all'acqua dal corpo immerso; e la Matematica, non potendosi far uso di recipiente sferico, ha trovato dovergli dare la forma di un cilindro alto quanto il diametro della sua base — 2° Che questo cilindro sia fatto di sottile lamina di metallo buon conduttore del calore, e ciò per non avere una considerevole differenza di temperatura tra la faccia esterna del cilindro e quella bagnata dall'acqua: a tal uopo si è scelto il rame, che al suo modico prezzo aggiunge un sufficiente potere conduttore. — 3° Che l'elevazione di temperatura prodotta nel bagno dall' immersione del corpo caldo non superi di molto il grado di calore del mezzo ambiente.

Per vedere in atto il metodo delle mescolanze, figuriamoci di voler determinare la capacità termica del rame, ossia della sostanza stessa del recipiente; e da ciò torremo argomento a convincerci che il metodo è sufficiente a sè stesso.

Poniamo dunque che il cilindro pesasse 540 grammi; che il peso dell'acqua di cui è pieno, fosse di 1230 grammi; e che gettativi dentro 300 grammi di lamine di rame riscaldato a 100°, la temperatura del bagno che prima era di 10°, siasi elevato a 12°.

Risultando dalle cose esposte nel n° precedente che la quantità di calore acquistata o perduta da un corpo, debba essere rappresentata dal prodotto di tre fattori, che sono il peso del corpo, la differenza avvenuta nella sua temperatura ed il numero che n'esprime il calore specifico, avremo che chiamando C questo calore incognito, quello perduto dalle lamine di rame per la loro immersione nell'acqua, dovrà essere espresso da:

$$300\,(100 - 12)\,C = 26400\,C.$$

Di questo calore l'acqua, la cui capacità termica si è fatta eguale a 1, ne avrà presa la porzione:

$$1230\,(12 - 10) = 2460,$$

ed il resto espresso da:

$$540\,(12 - 10)\,C = 1080\,C$$

sarà toccato al recipiente. In conseguenza avremo:

$$26400\,C = 2460 + 1080\,C.$$

Dalle quali due grandezze eguali togliendo 1080 C, resteranno:

$$25320\,C = 2460,$$

ed in conseguenza:

$$C = \frac{2460}{25320} = 0{,}097.$$

La capacità termica del rame sarebbe dunque, secondo i dati da noi supposti, novantasette millesimi di quella dell'acqua.

Se il corpo da sperimentarsi fosse liquido, od anche solido da non potersi mettere a contatto dell'acqua, allora se n'empirebbe un vasellino fatto di sottile lamina di un metallo di nota capacità termica, e detratta dai risultamenti dell'esperienza la parte dovuta al vasellino, si avrebbero i dati per calcolare il calore specifico del corpo messo a prova.

Capacità termiche dei metalli più usati.

Ferro	0,11379
Zinco	0,09555
Rame	0,09515
Argento	0,05701
Piombo	0,03141
Stagno	0,05623
Bismuto	0,03084
Platino laminato . .	0,03243
Oro	0,03244
Mercurio	0,03332

Pregi del termometro a mercurio.

214. Diversi sono i pregi del mercurio riguardato come corpo termometrico. Primieramente la sua dilatazione apparente nel vetro si è trovata proporzionale agli aumenti di calore tra 0° e 100°. La qual cosa non si verifica nello spirito di vino, e perciò un termometro fatto con questo liquido non può ricevere un'esatta graduazione, se non venga immerso insieme ad un buon termometro a mercurio in un bagno, il cui calore si faccia variare prima con gettarvi dei pezzettini di neve, poi con aggiungervi a poco a poco dell'acqua calda.

Il mercurio ha inoltre piccola capacità termica, e perciò poco calore toglie ai corpi, coi quali si pone a contatto, perchè ce ne dica la temperatura. E ciò non è di lieve momento, allorchè si vuole esaminare la temperatura di una piccola quantità di liquido.

È poi perfettamente opaco, e questa qualità unita al suo colore argentino fa che possiamo costruirne termometri con cannelli estremamente capillari e quindi con piccolissimo bulbo, la qual cosa li rende sensibili alle leggiere variazioni di temperatura.

In fine il mercurio conserva il suo stato liquido per un intervallo di circa 400 gradi, imperocchè si congela a 40° sotto zero e bolle a 360°; e solamente per temperature più basse del suo punto di congelazione dev'essere sostituito dallo spirito di vino.

Capacità termiche dei gas.

215. Non ci facciamo ad esporre i metodi con cui sono state determinate le capacità termiche dei corpi aeriformi, perchè trascorreremmo tropp'oltre i limiti di quest'o-

pera. Ci limitiamo a dire soltanto — 1° Che loro unità è la capacità termica dell'aria — 2° Che si possono cercare per pesi eguali o per volumi eguali, e che in ciascuna di queste due maniere si può supporre una pressione costante con volume variabile, o un volume costante sotto una pressione variabile. I diversi risultamenti ottenuti in queste varie condizioni delle capacità termiche degli aeriformi, saranno chiariti nel capo VII di questa medesima Sezione.

IV.

Cangiamento di stato.

Fusione — Solidificazione — Passaggio dei liquidi a vapori — Stato sferoidale dei liquidi — Tensione dei vapori — Liquefazione degli aeriformi.

216. La coesione diminuisce nei solidi a misura che il calore vieppiù li dilata, e può di tanto scemare col successivo aumento di temperatura da renderne le molecole mobilissime le une sulle altre; ed allora il solido è passato a liquido. Questo passaggio, che si nomina *fusione*, avviene a temperature diverse secondo i varii corpi; così mentre il mercurio si fonde a 40° sotto zero, il platino resiste al fuoco dei migliori fornelli. Ma per uno stesso solido, qualora non venga sottoposto a forti cangiamenti di pressione, la temperatura che lo fa passare a liquido è sempre la stessa, e perciò sotto il nome di *punto di fusione* viene annoverata tra le qualità fisiche del solido. Fusione.

Allorchè un solido per mezzo di continuato riscaldamento perviene al suo punto di fusione, la sua temperatura cessa di elevarsi e rimane la stessa finchè il corpo non sia interamente liquefatto. Gli Accademici del Cimento circondarono di acqua bollente un vase di piombo pieno di ghiaccio pesto, ed in mezzo al quale avevano introdotta la pallina di un termometro: questo non si mosse da 0° finchè il ghiaccio non venne interamente fuso.

Vi è dunque del calore che sparisce durante la fusione di un solido, e che si è denominato *calore latente*, quasi che nascosto tra le molecole del corpo. Nella fusione del

ghiaccio, ad esempio, ne sparisce tanto che basterebbe ad elevare da 0° a 79°,25 la temperatura di una eguale quantità di acqua. E perciò avviene che durante l'inverno il freddo si fa più intenso, quando la neve caduta comincia a liquefarsi.

Ed è così strettamente congiunta la sparizione del calore col passaggio da solido a liquido, che quando la fusione avviene altrimente che per accresciuta temperatura, allora il corpo che si fonde, sottrae calore ai corpi circostanti e li raffredda. Il mescuglio di sale e neve, di cui si serve il sorbettiere, n'è un esempio: tra l'acqua ed il sale esiste un'azione chimica, la quale per essere soddisfatta spinge la neve toccata dal sale a sottrarre dal rimanente della massa il calore che le bisogna per mutarsi in acqua, e così la mescolanza, quando è fatta nella dovuta proporzione, scende a 17° sotto lo zero. Sullo stesso principio è fondato il metodo della formazione artificiale del ghiaccio.

Solidificazione.

217. È noto che i corpi raffreddandosi si contraggono e perciò fanno diminuire i loro spazii intermolecolari, ed è noto ancora che la diminuzione di questi spazii fa crescere la forza di coesione. Quindi comprendiamo come per continuato raffreddamento un corpo possa passare da liquido a solido.

Questo passaggio deve in generale avvenire quando il corpo arriva a quello stesso grado termometrico in cui viceversa passerebbe da solido a liquido; e la differenza sta soltanto in ciò che quel grado è *punto di fusione* quando il corpo vi giunge per continuato accrescimento di temperatura, ed è viceversa *punto di congelazione* allorchè ci arriva per continua sottrazione di calore: restando però sottinteso che tra i detti punti vi debba esser sempre una benchè infinitesima differenza.

Osserviamo intanto che molti liquidi congelandosi o cristallizzano del tutto o prendono almeno una tessitura cristallina, per la quale le loro molecole dovendo ordinarsi in un certo modo, fanno che il corpo acquisti maggior volume. Se per esempio voi avete una scatoletta perfettamente piena di palline di piombo, e che vogliate rimetterle dentro dopo averle saldate in serie di 20 ciascuna,

trovercte impossibile a farle tutte rientrare nella stessa scatola. Or nella congelazione le molecole dell'acqua si dispongono in tanti aghi prismatici; e perciò, simili alle palline di piombo da noi tolte ad esempio, esse non possono più capire nello spazio di prima, ma si spandono in uno spazio maggiore e rendono il ghiaccio specificamente più leggiero dell'acqua.

A questo speciale ordinamento le molecole del liquido non ci arrivano di un salto, ma vi si dispongono a mano a mano che la loro temperatura si avvicina a quella della congelazione, per poi prontamente attuarlo nell'istante in cui toccano questo grado di calore. Ed in fatti se circondiamo di neve mista a sale una pallina di vetro piuttosto grande, piena di acqua con porzione del cannello a cui sta innestata, vedremo il livello liquido scendere fino ad un certo punto, e poi salire finchè la congelazione non farà scoppiare la pallina. Vi è dunque per l'acqua una temperatura in cui la sua densità è massima; e poichè in questo stato si è voluta dagli autori del sistema metrico decimale per farne l'unità di peso, così si è dovuto cercar modo di definire quella temperatura, che si è trovata esser di 4°,1.

Abbiamo accennato ad un particolare ordinamento che in vicinanza del punto di congelazione prendono le molecole di quei liquidi, che al pari dell'acqua crescono di volume nel congelarsi. Or se per una cagione qualunque le molecole del liquido si trovassero impedite a potersi disporre in quell'ordine, allora lo si potrebbe raffreddare di parecchi gradi sotto il suo punto di congelazione senza vederlo passare allo stato solido. Così avviene che mentre l'acqua limacciosa si congela costantemente a 0°, quella ch'è pura, può rimaner liquida a temperature assai più basse, specialmente se chiusa in sottili cannelli di vetro. Ma se il recipiente sia grande abbastanza per potervi gettare un pezzettino di qualsiasi solido, o di poter agitare comunque il liquido contenuto, lo vedremo ghiacciare in un istante, e se un termometro vi fosse immerso, lo vedremmo salire in un subito a 0°. La qual cosa dimostra che se una quantità di calore sparisce nella fusione di un solido, un'altra ne appare nella solidificazione di un

liquido; e nel capo VII di questa Sezione vedremo esservi sufficiente ragione per doverle credere eguali.

L'accrescimento che avviene nel volume dell'acqua che si congela, si attua con tanta energia che le maggiori resistenze ne restano vinte. Gli Accademici del Cimento videro che ne rimanevano rotte delle palle di doppio cristallo, di bronzo, di rame. Un uffiziale inglese trovandosi a Quebec in un rigido inverno, empì di acqua una bomba di un piede di diametro, e dopo averla chiusa con turaccio di legno fattovi entrare a colpi di martello, la espose all'aria, mentre la temperatura era — 28°. Si udì bentosto una forte esplosione, e si trovò che il ghiaccio sporgeva dalla bomba con una prominenza di 8 pollici e che il turaccio era stato lanciato a più di 400 piedi di distanza. Similmente Biot a Parigi fece crepare un cannone già pieno di acqua e chiuso con coperchio a vite.

Passaggio dei liquidi a vapori.

218. — *Evaporazione* — Ponete dell'acqua in un bicchiere, segnate la linea del suo livello, e poi fatevi ad osservarla dopo qualche giorno; troverete che il liquido ne sta più basso. Una quantità di acqua è dunque sparita riducendosi in un fluido invisibile; e ciò si denomina *evaporazione*.

Ponete due eguali quantità di acqua, l'una in un bicchiere, l'altra in un largo piatto, e troverete che lasciati i due recipienti in un medesimo luogo, il secondo avrà perduto tutto il suo liquido assai prima dell'altro. L'evaporazione cresce dunque a misura che più ampia superficie il liquido presenta al mezzo ambiente.

La temperatura del liquido vi prende ancora la sua parte, essendo noto che i pannilini si asciugano più presto al Sole che all'ombra.

Anche il vento la fa più celere, come quello che portando via il vapore già formato, prepara lo spazio a quello che va a formarsi: l'esperienza avendo già dimostrato che in un dato spazio e sotto un dato grado di calore un liquido può dare tanto vapore e non più; e lo spazio allora dicesi *saturato di vapore*.

L'atto dell'evaporazione sottrae calore al liquido e quindi ai corpi che gli stanno in contatto. Espongansi all'aria due termometri, l'uno col bulbo nudo, l'altro col bulbo

vestito di mussolina continuamente bagnata, e si vedrà il secondo indicare una temperatura più bassa di quella segnata dall'altro. Quindi si comprende come in mezzo al calore estivo si possa congelare il mercurio di un termometro, sol perchè lo si meni rapidamente in giro dopo averne coperto il bulbo con un pezzo di spugna bagnata di liquido assai volatile.

Novella prova ce ne dà il piccolo strumento rappresentato dalla (*fig. 204*) È un tubo ricurvo di vetro terminato da due palle, le quali insieme al tubo sono in parte em-

fig. 204.



pite di alcoole colorato. Chiudendo in mano una delle palle e sia la palla A, si vedrà il liquido zampillare nella palla B, e quando il vapore prodotto in A dal calore della mano avrà cacciato in B quasi che tutto il liquido, allora l'evaporazione dell'ultima falda aderente alla faccia interna della palla farà provare alla mano un senso di fresco. E per la stessa ragione avviene che capovolto l'apparecchio e circondata una delle palle con neve pesta, si vegga l'altra coprirsi di un velo di rugiada.

Un'altra prova ancora ne abbiamo dall'artificiale formazione del ghiaccio nel vuoto pneumatico. Si pongano sotto la campana della macchina un largo recipiente di vetro con acido solforico anidro ed un piattino con poca acqua in cui vada immersa la pallina di un piccolo termometro. Si faccia il vuoto e si lasci stare ; e si vedrà il termometro lentamente discendere fino a toccare lo zero, ed in fine si avrà l'acqua ghiacciata. L'acido solforico si è appropriato il vapore acqueo a misura che questo si è prodotto, e la produzione ha dovuta essere assai rapida, per-

chè l'acqua mercè il calore dei corpi ambienti non abbia potuta rifarsi di quello che le veniva sottratto dal vapore nascente.

Ma se ripetiamo lo stesso sperimento lasciando sotto la campana l'aria che vi si trova, non otterremo la formazione del ghiaccio. La presenza dell'aria ha dunque ritardata l'evaporazione; e poichè altrettanto avrebbe fatto ogni altro gas non avente azione chimica sull'acqua, bisogna dire che il ritardo è stato l'effetto di un'azione meccanica, la quale non ha potuto esser altra che la pressione dell'aria sull'acqua.

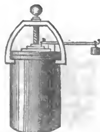
Date dunque tutte le altre cose eguali, l'evaporazione sarà più o meno celere, secondo che la pressione del mezzo ambiente sarà viceversa minore o maggiore.

— *Ebollizione* — Quando una caldaja piena di acqua è messa su di un fornello, il calore trasmettendosi dal fondo del recipiente alla falda liquida che vi sta sopra, la riscalda, la dilata, e facendola con ciò specificamente più leggiera la costringe di salire a galla. Una seconda falda viene ad occupare il posto della prima, e dilatandosi del pari cede il suo luogo ad una terza falda, questa poi lo darà ad una quarta, ecc. e così nell'intera massa si genera una corrente di acqua calda che sale e di acqua fredda che scende, e per mezzo della quale la temperatura del liquido ne va sempre crescendo. Dopo qualche tempo cominciano ad elevarsi delle bollicine di vapore, che staccandosi dal fondo su cui si erano formate, lo pongono in vibrazione, e da ciò quel suono, che poi cessa quando l'ebollizione si stabilisce, vale a dire quando le falde liquide venendo successivamente a toccare il fondo della caldaja si trasformano in altrettante masse di vapore che sotto forma di bolle salendo fino alla superficie del liquido fortemente la scuotono. Da quell'istante il termometro cessa d'innalzarsi, comunque l'ebollizione si facesse più tumultuosa; il che vuol dire che il calore d'allora in poi somministrato dal fornello, va tutto speso per la formazione del vapore.

Il punto a cui il termometro si arresta, quando comincia l'ebollizione, varia secondo la natura del liquido, la pressione a cui soggiace e le sostanze che vi stanno di-

sciolte. Così vediamo che sotto la pressione barometrica di 760 millimetri l'acqua bolle a 100°, l'etere a 37° il solfuro di carbonio a 47°, lo spirito di vino a 79°, il mercurio a 360°, ecc. E l'acqua che bolle a 100° sotto la pressione di 760°, se si pone a 60° sotto la campana pneumatica, basteranno pochi colpi di stantuffo per farla bollire, e viceversa può tollerare temperature di molto superiori a 100° quando è chiusa nella *pignatta di Papin*. La quale (*fig. 205*) non è che un forte cilindro di bronzo, chiuso da un coperchio a vite, su cui sta un foro fermato da una valvola che vi è premuta da un braccio di leva caricato di un peso. A questo modo di chiusura si dà il nome di *valvola di sicurezza*, perchè il peso di cui è gravata la leva offrendo sempre alla forza espansiva del vapore una resistenza minore della tenacità del cilindro, non può temersi che questo vada in pezzi prima che il vapore sollevando la valvola scappi fuori della pignatta.

fig. 205.



Abbiamo detto che la temperatura di ebollizione di un liquido dipende ancora dalle sostanze che vi stanno disciolte; ed in fatti l'acqua di mare bolle a temperatura più alta che l'acqua dolce, e se in questa venga disciolta gran copia di nitrato di ammoniaca, la potremo riscaldare fino a 180° prima di vederla bollire. Il vapore però che se ne svolge ha sempre il grado di calore che avrebbe acquistato emanando in consimili circostanze dall'acqua pura; e perciò se nel determinare il punto fisso superiore della scala termometrica, vogliamo usare il contatto del vapore anzichè quello dell'acqua bollente, nulla importerà che questa sia o pur no distillata.

219. Prendete una piccola sottocoppa di argento, ponetela sopra un treppiede, e fatela arroventire sottoponendovi la fiamma di una lucerna a spirito di vino. Quando la sottocoppa è divenuta rossa, voi crederete che facendovi cadere delle gocce di acqua, queste dovessero immediatamente trasformarsi in vapore: e bene, fate che **Stato sferoidale dei liquidi.**

delle gocce cadano sulla lamina rovente, e le vedrete con sorpresa riunirsi in una sola, che quantunque si mostri internamente agitata e qualche volta presa da movimento di traslazione, non lascia purtuttavia di rimanere sulla lamina.

La goccia prende allora quella forma di sferoide depressa che suole avere quando poggia sopra un corpo incapace di esserne bagnato; e da ciò il nome di *stato sferoidale*. Si suol dire ancora *calefatta*, perchè l'alta temperatura del sostegno fa che la goccia non possa bagnarlo; e realmente essa non lo tocca, imperocchè immergendovi uno dei reofori di una pila che racchiuda un galvanometro, e toccando la lamina coll'altro reoforo, si vedrà l'ago galvanometrico rimanersi immoto. Tra la goccia e la lamina dunque non esiste contatto, e la prima è sostenuta dalla sola forza ripulsiva del calore.

È degno di nota che la goccia calefatta ha sempre una temperatura inferiore a quella della sua ebollizione, come può verificarsi immergendovi il piccolo bulbo di un termometro per ciò costrutto. Dal che poi deriva uno dei più sorprendenti fenomeni della Fisica, qual'è la formazione del ghiaccio in un forno di coppella riscaldato al bianco. All'uopo basterà calefare sopra una lamina rovente di platino una goccia di acido solforoso liquido, che sotto l'ordinaria pressione dell'atmosfera bolle a — 10°. La lamina colla soprapposta goccia calefatta verrà introdotta nel forno di coppella; se l'aria è umida, il vapore atmosferico si deporrà in ghiacciuoli sull'acido solforoso, e se l'aria è secca, basterà farvi cadere una goccia di acqua, per vederla immediatamente ghiacciare.

Tensione dei vapori. 220. Lo sforzo continuo degli aeriformi ad espandersi in uno spazio maggiore, si denomina *tensione*. La quale nei vapori che sovrastano al liquido generatore cresce rapidamente colla temperatura; e per dimostrare quanta sia la differenza tra questo stato del vapore e quello in cui si trova quando è separato dal liquido generatore, basterà far osservare che nel primo caso il vapore aqueo passando dalla temperatura di 100° a quella di 150°, la sua tensione sale da 1 a 5 atmosfere (1), mentre lo stesso

(1) Quando si dice che la tensione di un vapore è di 1, 2, 3,...

vapore se si fosse trovato isolato non avrebbe accresciuta la sua tensione che di circa 13 centesimi di un'atmosfera.

Or perchè si abbia un'idea del modo con cui si è potuta misurare per diversi gradi termometrici la tensione di un vapore sovrastante al liquido generatore (1) esporremo brevemente il metodo di Dalton per la misura delle tensioni minori di un'atmosfera e per calore superiore a quello del mezzo ambiente.

L'apparecchio è rappresentato nella *fig.* **206.** A e B sono due barometri che hanno comune pozzetto in una caldaja di ferro, in parte piena di mercurio. In uno dei barometri e sia B, si è fatta entrare una sufficiente quantità del liquido, che si vuol mettere a prova, e che per la sua specifica leggerezza è venuto a galla sul mercurio, ed ivi producendo vapore da saturarne il vuoto barometrico, ha fatto scendere il mercurio sotto al livello che ha nell'altro barometro. Basterà dunque misurare la differenza dei due livelli per avere in millimetri di mercurio la tensione del vapore prodotto alla temperatura del mezzo ambiente.

fig. **206.**



Volendo poi misurare la tensione a temperature superiori a quelle del mezzo ambiente, si accenderà il fornello sottoposto alla caldaja, dopo aver circordato i due barometri con un largo cilindro di vetro che pesca colla sua base nel mercurio della caldaja ed è pieno di acqua. Così il calore passando dal fornello al mercurio e da questo all'acqua, viene a riscaldare il liquido introdotto nel barometro B, ed accresce la tensione del suo vapore.

---

atmosfere, si vuol dire che la sua tensione è tanta che farebbe equilibrio al peso di una colonna di mercurio di egual base ed alta 1, 2, 3, ... volte 760 millimetri.

(1) Il lettore che volesse un più ampio sviluppo della quistione, lo troverebbe nei miei *Elementi di Fisica* — *3.ª edizione* — *pag.* *230 a 237*.

Sperimentando a questo modo si è visto il mercurio nel barometro B scendere al livello del mercurio esterno, quando il calore del bagno toccava il grado di ebollizione del liquido messo a prova. La qual cosa vuol dire che il vapore prodotto dall'ebollizione fa equilibrio alla pressione esterna; e da ciò si rileva la ragione per cui la temperatura di ebollizione varia direttamente colla pressione a cui un liquido è sottoposto.

Quando in uno spazio chiuso parte di un liquido si trasforma in vapore, lo spazio ne rimane saturato, e per la temperatura di quello spazio la tensione del vapore è massima. In una condizione perfettamente simile si è sempre trovato il vapore in tutte le ricerche istituite dai fisici per misurare la sua tensione sopra una scala di temperature più o meno estesa; e perciò i numeri da essi trovati son sempre relativi a tensioni massime.

Liquefazione degli aeriformi.

221. È noto (n° 218) che in un dato spazio e con data temperatura può formarsi tanto vapore e non più, sia vuoto lo spazio, sia occupato da qualunque gas che non vi abbia azione chimica; e perciò se uno spazio saturo di vapore venga ristretto o raffreddato, porzione del vapore che vi è contenuto, dovrà necessariamente tornare allo stato liquido.

Ma se lo spazio non fosse saturo di vapore, è chiaro che lo potremmo diminuire o raffreddare, senza che parte del vapore tornasse a liquido, purchè non si oltrepassi il limite che renderebbe quello spazio saturo del vapore che contiene. I vapori dei corpi che conosciamo liquidi sotto gli ordinarii valori di pressione e temperatura, con leggiere modificazioni di queste grandezze facilmente rendono saturato uno spazio. Ma i corpi, che non altrimente conosciamo che sotto forma di gas, come l'aria, l'ossigeno, l'azoto, ecc. hanno così basso il loro punto di saturazione, che se per alcuni come il gas ammoniaco, il cloro, l'acido carbonico, ecc. vi si è potuto giungere e si sono ottenuti liquidi, per altri al contrario, come l'aria, l'ossigeno, l'idrogeno, ecc. si sono inutilmente adoperate le più forti pressioni coadjuvate da bassissime temperature.

Tra i *vapori* dunque ed i *gas* propriamente detti non

esiste altra differenza caratteristica, senonchè i primi trovano il loro punto di saturazione tra le naturali vicende di pressione e temperatura, mentre i secondi richiedono enormi cangiamenti di calore e di pressione, a cui se per alcuni si è potuto arrivare, per altri è riuscito impossibile di pervenirvi.

Nel n° 218 abbiamo veduto le prove che ci sono della sparizione di calore che ha luogo nella gassificazione di un liquido, ed ora viceversa diciamo che nella liquefazione di un vapore vi è grande sviluppo di calore: il vapore aqueo, a modo di esempio, nel suo passaggio a liquido svolge tanto calore, che basterebbe a riscaldare da 0° a 100° una quantità di acqua cinque volte e mezzo più grande. E se non si può determinare il calore che si perde nella gassificazione di un liquido, si è potuto viceversa misurare quello che si svolge nella liquefazione di un vapore, facendo che questo nel passare per un tubo girato a spire lo cedesse ad una determinata quantità di acqua donde il tubo era circondato. Or in uno dei seguenti articoli troveremo esservi giusti motivi per credere che quanto calore si svolge nel passaggio di un vapore a liquido, altrettanto ne vada perduto nella produzione dello stesso vapore; dimodochè la misura del primo calore è anche misura del secondo.

V.

Trasmissione del calore.

Conduzione — Convezione — Diatermasia — Termocrosi.

222. Immaginiamo un corpo esposto con una delle sue facce all'azione di una sorgente termica, e sia per esempio una verga di ferro messa con una delle sue estremità a contatto di un fuoco di forgia. Lo strato molecolare che trovasi in quell'estremità della verga, assorbendo calore dai carboni ardenti, si riscalda ed agisce sullo strato che immediatamente segue, come i carboni hanno agito su di esso; il secondo strato molecolare agirà similmente sul Conduzione.

terzo, e così il calore moverà da un'estremità della verga verso l'altra, passando sempre da molecole a molecole.

Questo modo di trasmissione del calore attraverso la sostanza di un corpo, si denomina *conduzione*; e la sua essenza essendo riposta nel continuo passaggio da molecole a molecole, ne segue che ove questo passaggio sia da qualunque causa impedito, ivi la conduzione cesserà di aver luogo. Se per esempio una delle facce esterne di un forno fosse continuamente bagnata da una corrente di acqua, questa porterebbe via il calore ricevuto da quella faccia, e non lo farebbe pervenire all'altra sponda del canale per cui essa corre. Quindi se il calore che riceviamo avvicinandoci ad un fuoco acceso all' aria aperta, ci fosse da questa trasmesso per conduzione, basterebbe che un vento un pò gagliardo passasse tra il fuoco e noi, per non farci ricevere alcuna dose di calore. Il fatto però dimostra il contrario, ed in conseguenza quel calore non ci arriva per conduzione dell'aria interposta, ma in un modo del tutto diverso, come in seguito vedremo.

Ritorniamo alla verga di ferro qui sopra tolta ad esempio, ed immaginiamola divisa in falde poco doppie mercè sezioni normali alla sua lunghezza. Ognuna di queste falde ricevendo calore dalla falda precedente, ne trasmette a quella che segue, mentre una porzione ne va dispersa per la sua faccia esterna. Questa perdita, quando altra non ve ne fosse, sarebbe sufficiente a farci comprendere perchè la temperatura delle diverse falde, cominciando da quella che sta a contatto colla sorgente termica, vada sempre decrescendo in modo che, avendo la verga una certa lunghezza, se ne potrebbe fondere un'estremità senza che all'altra pervenisse sensibile quantità di calore.

Ma non è questa la sola cagione, per la quale le falde del corpo più lontane dalla sorgente termica riescono meno calde delle più vicine. La scienza sa fare in modo che verghe di sostanze diverse e di eguali dimensioni disperdano per le loro facce eguali quantità di calore, quando con una delle loro estremità vengono esposte ad una stessa sorgente termica. Or facendo a questo modo, si trova che le falde egualmente lontane dalla sorgente non sono egualmente calde nelle verghe di diversa natura. Esiste dun-

que nella sostanza stessa del corpo una resistenza al moto del calore. I corpi in cui questa resistenza è poca, si dicono *buoni conduttori*, quelli in cui è molta si dicono *cattivi conduttori*.

Buoni conduttori sono i metalli, ed alcuni più che gli altri: sono poi cattivi conduttori il legno, il sughero, la terra cotta, la cenere, i corpi fiocconosi come la bambagia, e più di tutti lo sono i gas, eccetto l'idrogeno; ed alla cattiva conduttibilità dei gas si deve l'utilità delle imbottiture negli abiti, e delle doppie invetriate delle finestre.

Il fatto della diversa conduttibilità dei corpi pel calore ci fa comprendere perchè corpi che si trovano in uno stesso ambiente, non sembrino egualmente caldi al nostro tatto. Così, d'inverno specialmente, troviamo un pezzo di ferro assai più freddo di un pezzo di legno; queste due sostanze hanno allora una temperatura di molto inferiore a quella del nostro corpo, perciò ne sottraggono calore, ed il ferro che lo assorbe più celeramente del legno, ci sembra più freddo. Tocchiamo viceversa i ferri e l'armatura di legno di un balcone che verso un meriggio estivo sia direttamente colpito dai raggi solari, e troveremo il ferro più caldo del legno perchè più calore comunica in egual tempo alla nostra mano.

223. Il calore nei liquidi e negli aeriformi può essere trasmesso da un punto all'altro della loro massa senza che la conduzione vi prenda alcuna parte, ma sol perchè le loro molecole rimescolandosi in conseguenza di perduto equilibrio, portano con esse nei luoghi che vanno ad occupare il calore acquistato in quelli che prima occupavano. A questo modo di trasmissione del calore i moderni fisici danno il nome di *convezione* (dal latino *convectio*, l'atto di portare). Così le molecole dell'acqua, messa in un recipiente soprapposto al fuoco, trasportano il calore dal fondo alla superficie di livello, e fanno che la temperatura del liquido cresca fino a produrre l'ebollizione. **Convezione.**

Ma se il calore in vece di essere applicato al fondo dell'acqua, lo fosse alla superficie di livello, allora le correnti che dovrebbero trasportarlo dall'alto in basso, non avrebbero più ragione di essere; e si potrebbe consumare

anche un mezzo quintale di carbone sul coperchio di una caldaja, senza poter ottenere che l'acqua, che vi sta dentro, bollisse.

Negli aeriformi poi la convezione può aver luogo per ogni verso, stante che a qualunque delle pareti dei recipienti che li racchiudono, venga applicato il calore, ivi la tensione dell'aeriforme si accresce, l'equilibrio n'è turbato, ed il rimescolamento molecolare che ne segue, fa che il calore sia per varie direzioni trasportato nell' interno della massa gassosa. Quindi si comprende, perchè, volendo far pro della forza d' isolamento di cui gli aeriformi son dotati, sia d'uopo inceppare i movimenti, come appunto fanno le sostanze filamentose rispetto all' aria che vi si annida.

Diatermasia. 224. La parola *diatermasia* (dal greco *dia* attraverso e *termao* riscaldo) esprime quel modo di trasmissione del calore, con cui questo agente passa pei corpi come fa la luce per quelli che ne sono permeabili. Carattere distintivo di questo modo di trasmissione è la sua indipendenza dal moto o dal riposo del mezzo che attraversa. Così se il sito apparente di un oggetto veduto attraverso un vetro piano non cangia quando il vetro si fa rapidamente oscillare innanzi all' occhio, il calore che riceviamo dai raggi solari neppure è portato via da un vento impetuoso. Il calore dunque attraversa l' aria del pari che la luce fa nel muoversi per un corpo trasferente; quindi è che l' aria non ne rimane riscaldata, e n' è prova il trovarla più fredda a misura che si va più in alto. Degli aeronauti saliti a grandi altezze hanno veduto il termometro discendere a — 40°

Non tutti i corpi trasparenti sono ancora *diatermici*, nè tutti i corpi opachi per la luce sono ancora *adiatermici*, ossia opachi pel calore. Il vapore aqueo, a modo di esempio, trasparentissimo per la luce, è perfettamente opaco pel calore: al contrario il vetro nero, che messo tra l' occhio ed il sole è di un'opacità perfetta, è intanto assai trasparente pel calore: nè vi è corpo di tanta trasparenza per la luce, quanta rispetto al calore ne ha il salgemma, ch'è appena traslucido.

Termocrosi. 225. Noi diciamo rosso, giallo, verde, ecc. quel vetro od

altro corpo trasparente, il quale lascia passare o soli o in massima parte i raggi rossi, gialli, verdi, ecc. Donde poi segue che facendoci a guardare attraverso due vetri, di cui l'uno lasci passare i soli raggi verdi e l'altro i soli rossi, noi non vedremo che bujo perfetto, essendochè i raggi che uno dei due vetri ha lasciato passare, vengono poi arrestati dall'altro.

Fenomeni perfettamente simili presentano i corpi trasparenti pel calore; e l'illustre Melloni, a cui la Fisica deve quanto oggi possiede intorno alla trasparenza pel calore, ch'egli denominò *diatermasia*, li comprese sotto la denominazione di *termocrosi*, ossia *colorazione pel calore*. Il vetro comune, a modo di esempio, è impermeabile dai raggi di calore oscuro, qual'è quello che vien fuori da un vase metallico che contiene acqua in ebollizione, mentre poi dà libero passaggio a quelli di colore lucido, come sono i raggi calorifici delle fiamme, dei corpi roventi, ecc. I raggi di calore lucido son dunque diversi da quelli di calore oscuro, ed il vetro che si lascia attraversare dagli uni e non dagli altri, è sostanza *termocroica*, ossia colorata rispetto al calore. Al contrario il salgemma che lascia passare egualmente i raggi di qualsiasi sorgente termica, è corpo *atermocroico*, ossia bianco pel calore, come le sono l'acqua ed il cristallo rispetto alla luce. E per avere un esperimento simile a quello dei due vetri colorati di sopra detti, basterà prendere due lamine, l'una di vetro nero e l'altra di allume, e soprapporle l'una all'altra; si troverà che nessun raggio di calore potrà attraversare le due lamine insieme, mentre ciascuna separatamente presa, è di natura diatermica.

VI.

Calore raggiante e sue leggi.

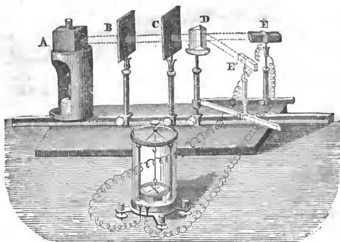
Raggi di calore — Termoattinometri — Riverberazione speculare—Legge della distanza—Rifrazione—Polarizzazione.

226. Abbiamo più volte usata nell'art. precedente l'espressione *raggi di calore*, supponendo che questo agente Raggi di calore.

proceda per linee rette egualmente che la luce. Oggi, come qui appresso vedremo, n'è facile la prova, ma l'idea che l'azione termica a distanza vada in forma di raggi è per lo meno antica quanto l'invenzione degli specchi ustorii, che si attribuisce ad Archimede.

L'apparecchio con cui agevolmente si dimostra il moto rettilineo del calore, è quello stesso ideato da Melloni per lo studio del calore e che si vede rappresentato nella *fig. 207*. B e C sono due parafuochi forati; parallela ad essi sta una delle facce del cubo A ch'è di latta e con-

fig. 207.



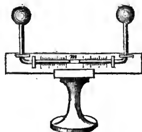
tiene acqua mantenuta in dolce ebollizione dalla fiamma di una lucerna a spirito di vino; e la faccia del cubo rivolta ai parafuochi è coperta di nerofumo, sostanza preziosa nello studio dell'irradiazione termica, come quella che dà alle superficie dei corpi raggianti il massimo potere emissivo, e le rende atte ad assorbire secondo una ragione costante i flussi calorifici di qualsiasi sorgente termica. Finalmente vi è la pila termoelettrica E, che

colpita in una delle sue basi da un flusso calorifico, mette in moto l'ago del galvanometro a cui sta unita.

Finchè la pila giace sull'asse dei due fori, il galvanometro ci dirà che essa è colpita dal calore emesso dalla faccia annerita del cubo; ma se per poco fosse deviata da quell'asse, l'ago galvanometrico ritornerebbe immediatamente sullo zero del quadrante. Sostituendo al calore dell'acqua bollente quello di ogni altra sorgente termica, l'effetto sarebbe lo stesso. Il calore dunque muove per linee rette.

227. L'ordinario termometro, come quello che non può esser sottratto dai cangiamenti termici del mezzo ambiente, non può servire allo studio del calore raggiante, imperocchè l'osservatore scorgendovi dei movimenti non saprebbe dire se fossero effetti di cangiato calore del mezzo o di mutata energia nel flusso calorifero che sta esaminando. Ecco ciò che compresero ad un tempo Lelsie e Rumford, il primo inventando il *termometro differenziale*, l'altro il *termoscopio*, preferibile al primo perchè più sensibile. Il termoscopio, rappresentato nella *fig. 208*, si compone di un cannello di vetro, che voltato a forma di U finisce in due sfere non vuote di aria. Nel mezzo del lato orizzontale del cannello vi sta chiusa una colonnetta liquida, la quale si vedrà correre a destra o a sinistra, secondo che una delle sfere è fatta più o meno calda dell'altra; ma se le due sfere sieno nel tempo stesso ed egualmente riscaldate o raffreddate, come appunto avverrebbe in un cangiamento termico del mezzo ambiente, allora l'indice non prenderà alcun movimento — Immaginando più lunghi i bracci verticali del cannello di vetro, e che un liquido colorato vi s'innalzi ad una certa altezza dopo aver occupata l'intera porzione orizzontale, si avrà il *termometro differenziale* di Leslie, che gli diede que- Termo-attinometri.

fig. 208.



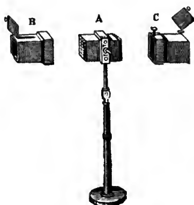
sto nome, perchè l'istrumento non è sensibile che alla differenza di temperatura delle due sfere.

I termoscopii di Leslie e di Rumford oggi non appartengono che alla storia della scienza, il vero *termoattinometro* ossia *misuratore del calore raggiante* è il termomoltiplicatore, di cui diremo qui appresso. Qualora però i due primi strumenti si volessero talvolta adoperare, gioverebbe coprirne le sfere di nerofumo, sostanza che sola può farle idonee ad assorbire secondo una ragione costante i flussi calorifici di qualsiasi sorgente. Ai tempi di Leslie e Rumford, non si poteva supporre che nei flussi calorifici potessero esistere raggi diversamente assorbibili dalle sostanze diatermiche, e che in conseguenza il termoscopio potesse rimanere inerte, quando veniva colpito da certe radiazioni; eppure ciò avviene ognivolta che la nuda palla termoscopica riceve raggi che il vetro lascia passare senza riscaldarsi.

Nel n° 196 abbiamo detto che le correnti termoelettriche furono scoperte da Seebeck; che Nobili le adoperò per costruire un termometro di nuovo genere, il *termomoltiplicatore*, e che questo strumento fu perfezionato da Melloni. Ed ora aggiungiamo che la pila adoperata da Nobili si componeva di sei coppie di verghette di bismuto ed antimonio, lunghe circa 6 centimetri, larghe un buon decimetro quadrato, e che saldate a *zig-zag* stavano chiuse in una scatoletta cilindrica, in fondo alla quale e sepolte nel mastice stavano le saldature di ordine impari, mentre quelle di ordine pari ne sporgevano fuori per essere esposte ai cangiamenti termici. Or il Melloni trovava che la pila così ordinata, mentre riusciva un eccellente termometro di contatto, vale a dire un eccellente indicatore delle variazioni termiche quando il corpo che n'era il subbietto, se le poneva a contatto, si trovava poi inferiore al termoscopio di Rumford quando si volevano con essa studiare i fenomeni del calore raggiante. E messosi all'opera con quell'ardore proprio degli uomini destinati ad esser fondatori di una nuova scienza, trovò che per fare del termomoltiplicatore un eccellente *termoattinometro* bisognava comporre la pila di elementi più numerosi e di molto più piccoli, e coprirne le due basi di nerofu-

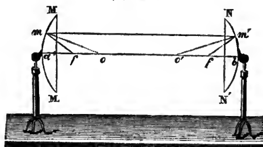
mo. Ne risultò così una pila grande come quella che si vede nella *fig.* **184** a pag. 272, e che in proporzione minore è rappresentata nella *fig.* **209**, nella quale si osservano inoltre due tubi prismatici di ottone che a modo di astucci vanno adattati sulle due basi della pila per difenderle da radiazioni estranee a quella che si vuol esaminare, ed i quali tubi avendo coperchi che istantaneamente si possono chiudere od aprire, fanno che un flusso calorifero vi si possa immettere od escludere nell'istante preciso in cui si vuole. E qnalora il flusso calorifero fosse così debole da far desiderare che la base della pila accogliesse assai più raggi che non son quelli da essa intercetti, allora vi si aggiunge un collettore concavo in forma di specchio conico.

fig. **209.**



228. Ritorniamo su i due specchi coniugati MM', NN' **Riflessione speculare.**

fig. **210.**



(*fig.* **210**) di cui ci siamo serviti (n° 94) per verificare la

legge della riflessione del suono, e poniamo nel fuoco principale (n° 123) di uno degli specchi una sorgente termica, come sarebbe un vasellino metallico con acqua calda, e nell'omonimo fuoco dell'altro una pila termoelettrica od anche la palla di un termoscopio; vedremo subito in quel secondo fuoco l'effetto del concentramento dei raggi che partiti dalla sorgente ivi giungono dopo essere stati successivamente riflessi dai due specchi, effetto che inutilmente cercheremmo in ogni altro punto dello spazio intermedio. E se in vece del vasellino di acqua calda, poniamo in quel fuoco una palla di ferro arroventata, troveremo nell' altro fuoco un concentramento di raggi abbastanza forte per accendere un pezzettino di esca.

Or se nel fuoco di uno degli specchi in vece di un corpo più caldo del mezzo ambiente ponessimo un pezzo di ghiaccio, vedremmo la pila o la palla termoscopica indicare un abbassamento di temperatura nell' altro fuoco. Questo fatto, non ignoto agli Accademici del Cimento, aveva indotto alcuni fisici a credere che dalla neve e da ogni altro corpo freddo emanassero *particelle frigorifiche*, le quali riverberate dal primo e dal secondo specchio, si concentravano nel fuoco dell'ultimo ed ivi producevano l'osservato abbassamento di temperatura.

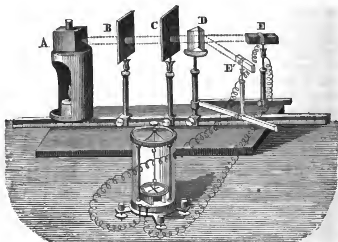
Ma il fatto di cui è parola, anzichè accennare all'esistenza di un fluido frigorifico, ci chiarisce in vece sul concetto che dobbiamo farci dell' equilibrio termico che può aver luogo tra due o più corpi distanti tra loro. In generale *equilibrio* vuol dir *quiete* nascente da contrasto di forze, ma nel caso del calore l'equilibrio non è quiete ma moto di eguale rinvio di raggi calorifici; e perciò il Prévost, che pel primo concepiva questa idea, propose la speciosa denominazione di *equilibrio mobile*. I corpi dunque che si trovano nei fuochi dei due specchi, s'inviano mutuamente dei raggi di calore; il più caldo ne riceve meno di quel che dà e perciò si raffredda, mentre l'altro che riceve più di quello che emette, si riscalda. Nell'esperimento eseguito col ghiaccio ed il corpo termoscopico, quest'ultimo è il corpo caldo e quindi si raffredda per lo scambio termico che fa colla neve. La quale se per avventura fosse meno fredda dello spazio ambiente

e del termoscopio, vedremmo quest'ultimo indicare un accrescimento di temperatura; come certamente avverrebbe, se ordinati i due specchi all'aria libera quando in un rigido inverno la temperatura è discesa di parecchi gradi sotto 0°, noi ponessimo nel fuoco di uno degli specchi un pezzo di ghiaccio allora tolto dall'aria riscaldata di una stanza, e che avrebbe in conseguenza la temperatura 0°.

229. Ogni azione fisica che assume forma raggiante, non può concepirsi se non come variabile in ragione inversa dei quadrati delle distanze dal centro dell'azione; tali sono la luce, il suono, il calore. Abbiamo veduto nei n[i] 91 e 118 quali riconferme l'esperienza ci abbia date rispetto al suono ed alla luce; una simile sanzione sperimentale si era indarno cercata dai fisici rispetto al calore, quando il Melloni ne rinveniva una per quanto semplice, altrettanto rigorosa. Si prenda un parafuoco con un foro nel mezzo, e in un punto dell'asse del foro, che vuol essere piuttosto grande, si fermi la pila termoelettrica, e s'immagini un cono che avendo il vertice nel centro della faccia della pila, abbia per base l'ampiezza del foro, e che la superficie di esso cono sia indefinitamente prolungata oltre la sua base. È chiaro che la quantità di raggi calorifici che la parete di un muro opposto al parafuoco, può inviare alla pila per mezzo del foro, dev'essere proporzionale alla porzione di superficie, intercetta su essa parete dall'immaginata superficie conica. Or una tal porzione di superficie varia, come la Geometria insegna, proporzionatamente al quadrato della distanza che corre tra la pila e la parete del muro; quindi in ragion diretta dello stesso quadrato dovrebbe variare l'effetto galvanometrico. Ma eseguendo la prova col recare la pila col suo parafuoco a diverse distanze dalla parete di un muro che i raggi del Sole hanno lasciata più calda del mezzo ambiente, si trova che l'effetto galvanometrico è indipendente da quelle distanze; dunque se l'estensione della superficie raggiante sulla pila è cresciuta come il quadrato della detta distanza, l'efficacia calorifica dei pennelli di raggi che ne sono partiti, ha dovuto viceversa diminuire in ragione dello stesso quadrato. Legge della distanza.

Rifrazione. 230. Avanti al foro del parafuoco C (*fig. 211*) dell'apparecchio già descritto nel n° 226. poniamo il prisma D di salgemma, sostanza di bianca trasparenza pel calore,

fig. 211.



come un eccellente *flint* lo è per la luce; e facciamoci a cercare i raggi calorifici inviati dalla sorgente A, situando la pila E sull'asse comune ai due fori: vedremo che l'ago galvanometrico non prenderà moto alcuno. I raggi calorifici dunque non vanno più per quella direzione. Facciamo poi girare il sostegno della pila, e troveremo che in una certa direzione DE' essa incontrerà il flusso calorifico deviato dal prisma; il calore dunque si rifrange come la luce.

Polarizzazione. 231. Il calore egualmente che la luce si polarizza (n° 149) per mezzo di riflessione o di rifrazione; e la modificazione che esso riceve quando ci apparisce polarizzato, è la stessa (n° 158) di quella che rende polarizzata la luce. I limiti di quest'opera ci costringono a semplicemente enunciare queste due proposizioni.

VII.

Natura del calore.

Il calore è movimento — Relazione dei cangiamenti termici colle meccaniche alterazioni dei corpi — Equivalente meccanico del calore — Alcune osservazioni sul calore specifico.

232. Il calore va in linea retta, si riflette specularmente, si rifrange e si polarizza precisamente come fa la luce. Quindi dobbiamo dire che lo stesso agente, l'etere, il quale coll' impulso delle sue onde produce sull' occhio l'effetto che diciamo *luce*, produrrà sul tatto l'effetto che diciamo *calore*. Il calore è movimento.

Evvi però una notevole differenza tra luce e calore. Il fenomeno *luce* non è che risonanza della retina, e può in conseguenza non esser proporzionale all'impeto delle onde eteree che la colpiscono, come l' andare in pezzi di un bicchiere sotto l'impeto della voce (nº 102) ed il rimanere illeso accanto all'esplosione di un'arma da fuoco, non è prova che l'azione meccanica della voce sia più forte di quella che nasce dalla gassificazione della polvere da sparo. Al contrario il fenomeno *calore*, il quale non è che movimento trasmesso dall'etere nella materia ponderabile o viceversa, è sempre in ragione dell'effetto che in essa produce e che va crescendo sotto le forme di dilatazione, fusione e gassificazione. Quindi si comprende come Tyndall abbia trovata la sua retina insensibile ad un forte calore oscuro concentrato nel fuoco di uno specchio concavo, mentre una lamina di platino messa nello stesso luogo prima occupato dalla retina, non tardò a farsi rovente.

È noto (nº 130) che il fascio dei raggi solari dispersi da un prisma non si racchiude nella sola parte visibile dello spettro, essendovi dei raggi calorifici oscuri oltre l'estremo rosso, e dei raggi che si appalesano per azione chimica, al di là del violetto; e la teoria matematica delle onde luminose ha fatto conoscere che sono meno rifrangibili i raggi corrispondenti alle onde eteree più lunghe

e più rifrangibili quelli appartenenti alle onde più corte. L'occhio dunque è insensibile pei raggi ultrarossi ed ultravioletti, come l'orecchio lo è pei suoni troppo bassi o tròppo acuti.

Nelle diverse zone colorate dello spettro si trovano però raggi calorifici oscuri misti a raggi luminosi. I primi debbono riguardarsi come i toni fondamentali delle vibrazioni sonore, ed i secondi come i loro ipertoni (nº 110); ed in conseguenza quando i primi siano indeboliti per cagioni che non valgono a scemare la forza dei secondi, allora si avrà luce con calore appena sensibile ai più delicati termoscopii, come è appunto il caso della luce lunare; e quando viceversa le cagioni perturbatrici annullano gl'ipertoni senza che i toni fondamentali patissero detrimento, allora si avrà calore senza luce. Così per l'appunto agisce una soluzione di jodo sull'irridazione della luce elettrica prodotta tra due punte di carbone che chiudano il circuito di una forte pila; la luce sparisce nel passaggio per quella soluzione, e rimane tanta copia di raggi calorifici oscuri che raccolti nel fuoco di uno specchio concavo, fanno divampare il corpo che ivi si trova.

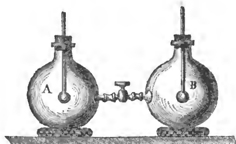
E se il calore non è che movimento vibratorio dell'etere, il riscaldamento ed il raffreddamento dei corpi non possono derivare che da vibrazioni molecolari accelerate o rallentate nel loro accordarsi con quelle dell'etere ambiente; le quali vibrazioni non cesseranno di esistere se non quando i corpi avranno raggiunto lo zero assoluto.

Relazione dei cangiamenti termici colle meccaniche alterazioni dei corpi.

233. Sappiamo che un corpo col riscaldamento si dilata e col raffreddamento si restringe. Nel riscaldarsi il corpo assorbe calore e nel raffreddarsi ne emette. Se questi fatti sono così legati tra loro che l'uno non possa aver luogo senza che l'altro si produca, dovremo avere assorbimento di calore e quindi raffreddamento nel corpo che per azione meccanica è dilatato, e svolgimento di calore ed in conseguenza aumento di temperatura nel corpo sottoposto a compressione. L'esperienza ha pienamente confermato queste illazioni; e delle tante prove all'uopo eseguite eccone una delle più semplici, *A* e B (*fig. 212*) sono due recipienti di cristallo, uniti con un tubo mercè del quale si può stabilire od interrompere la loro comunica-

zione. Nel recipiente A l'aria è stata condensata, in B si è fatto il vuoto; e quando i termometri che vi sono stati previamente introdotti, avranno la temperatura del mezzo

fig. 212.



ambiente, allora aprendo la chiave di comunicazione tra i due recipienti e lasciando in conseguenza che l'aria si slanci da A in B, il termometro di A si vedrà discendere e quello di B salire di altrettanto.

Una più spiccata produzione di calore per compressione si ha nell'*acciarino pneumatico*. Il quale strumento consiste in un tubo cilindrico con fondo chiuso, nel cui interno per mezzo di un'asta è mobile uno stantuffo scavato nella sua base per potervi ricevere un pezzetto di esca. Aggiustata l'esca ed introdotto lo stantuffo nel cilindro, lo si cacci dentro con forza, indi si estragga celeramente, e l'esca si troverà accesa.

Rispetto poi al freddo prodotto da meccanica espansione, se ne avrà tanta copia nel collo di un recipiente metallico, da cui si lasci fuggire l'aria dopo avervela compresa fino a 18 o 20 atmosfere, che è impossibile potervi reggere il contatto della mano.

Nè le sole azioni meccaniche, ma tutte quelle che si mostrano congiunte a variazioni termiche, possono con queste avvicendarsi. Così se di una pila di più coppie di bismuto ed antimonio riscaldando le saldature di ordine impari e raffreddando quelle di ordine pari si ha una

corrente diretta (n° 196) dal primo bismuto all'ultimo antimonio; quando poi nella stessa serie di coppie e pel medesimo verso vada immessa una corrente elettrica, sarà d'uopo che del calore entri nelle saldature di ordine impari ed esca da quelle di ordine pari, e perciò le prime debbono raffreddarsi e riscaldarsi le seconde.

Ed è così stretto il legame che unisce i cangiamenti termici dei corpi alle loro meccaniche alterazioni, che trovandosi un corpo su cui il calore produca effetti opposti a quelli che produce negli altri corpi, anche opposti saranno in quel corpo gli effetti termici delle meccaniche azioni. Così la gomma elastica, la quale sotto l'azione del calore non si dilata ma si contrae, si riscalda poi in vece di raffreddarsi, quando si trova meccanicamente allungata.

Equivalente meccanico del calore.

234. Fermiamo una palla di piombo ad un manubrio di legno, e così tenendola portiamola a contatto della pila del termomoltiplicatore, e prendiamo nota dell'effetto galvanometrico. Indi, sempre tenendola pel manubrio di legno, percuotiamola con forza contro una tavola, e riportiamola a contatto della pila; troveremo la palla più calda di prima. La forza dunque impressa dal nostro braccio nella palla, non si è distrutta nell'urto, ma si è trasformata in calore. Lo strofinio, la pressione, ed ogni altro mezzo di annichilamento delle forze meccaniche producono una identica trasformazione. Così la forza meccanica (n° 190) della corrente voltaica, in parte distrutta dalla resistenza del circuito, riappare (n° 195) sotto forma di calore; sotto la stessa forma si vede riprodotta nella congelazione di un liquido (n° 217) quella forza ripulsiva che aveva scemata la coesione fino a rendere le molecole mobili le une rispetto alle altre, e nella liquefazione di un vapore (n° 221) una forza ripulsiva più grande ancora, come quella che dopo aver vinta del tutto la vicendevole attrazione delle molecole, vi lasciava un'indefinita tendenza ad espandersi. Nè diversa è l'origine del calore prodotto dalla combustione, e dalle combinazioni chimiche in generale: gli atomi corrono gli uni contro gli altri per formare un corpo composto, e le velocità spente nel vicendevole incontro risorgono sotto forma di calore.

Similmente avviene che un disco di rame, il quale sospeso tra le branche di una vigorosa elettrocalamita, abbia ricevuto una rapida rotazione prima che la corrente fosse introdotta nelle spire dell'elettrocalamita, ad un tratto poi si arresta e si riscalda fortemente quando la corrente viene immessa in quelle spire; e così il nostro pianeta potrebbe rimanere fuso ed in parte volatilizzato dall'enorme calore che si produrrebbe, se la sua rotazione venisse istantaneamente a cessare.

Viceversa la produzione di una forza meccanica va sempre congiunta a perdita di calore. È noto che nella fusione del ghiaccio (n° 216) si perdono 79 calorie, e nella gassificazione dell'acqua se ne perdono 600 circa (n° 221); ma nella fusione le molecole dell' acqua acquistano una forza ripulsiva di poco inferiore alla loro coesione, e nella gassificazione ne acquistano tanta da lasciare in esse un'indefinita tendenza ad espandersi in uno spazio sempre più grande. Il calore dunque non si annichila nè si nasconde nella fusione dei solidi e nella gassificazione dei liquidi, ma semplicemente si trasforma in una forza meccanica. Nella macchina a vapore l'acqua gassificata perde calore nel dar moto allo stantuffo; e nella macchina animale, il cui fornello giace nell'organo respiratorio, avviene altrettanto allorchè essa esegue un movimento. Da ricerche appositamente eseguite è risultato che l'uomo eseguendo un lavoro meccanico, accelera la sua respirazione, e quindi consuma maggior quantità dell'ossigeno atmosferico; deve in conseguenza risultarne maggior copia di calore. Ma comparando il calore prodotto a quello rispondente all'ossigeno assorbito, si è trovata non piccola differenza; vi è dunque del calore che in noi si trasforma in forza meccanica, quando per mezzo dei nostri muscoli eseguiamo un lavoro.

Dunque le forze meccaniche spariscono mutandosi in calore, e questo dal canto suo sparisce mutandosi in forza meccanica; e tra la quantità di forza sparita o prodotta e la quantità del calore viceversa prodotto o sparito esiste un rapporto costante, indipendente dalla natura dei corpi. La quantità di forza che bisogna distruggere o produrre, perchè si produca o sparisca una ca-

loria (nº 213), si denomina *equivalente meccanico del calore.*

Prendendo ad unità di forza quella necessaria ad elevare un chilogrammo ad un metro di altezza, e che si denomina *chilogrammetro* o *dinamia*, l'esperienza ha dimostrato che 424 chilogrammetri o dinamie sono l'equivalente meccanico di una caloria.

Or per dare un'idea dei risultamenti a cui può menare la conoscenza dell'equivalente meccanico del calore, supponiamo che un chilogrammo di piombo cada dall'altezza di 424 metri. Poichè la forza necessaria a far salire un grave ad una data altezza dev'essere eguale (nº 23) a quella che la gravità vi accumulerebbe facendolo cadere da eguale altezza, così il chilogrammo di piombo cadendo dall'altezza di 424 metri, farà sparire nell'urto contro il suolo, 424 dinamie, e quindi vi sarà produzione di una caloria. Se l'acqua fosse stata il grave caduto, la caloria prodotta ne avrebbe elevata la temperatura di 1°, ma il piombo, la cui capacità termica è 0,03141, si riscalderà di $\frac{1}{0,03141} = 32°$ circa.

Un grave che scende dall'altezza di 424 metri, arriva sul suolo colla velocità di circa 90 metri a secondo. Poniamo in vece di questa una velocità planetaria, cioè una velocità di 500 a 700 chilometri a secondo, e quindi un'equivalenza in calorie proporzionale ai quadrati di queste velocità, essendochè ad essi quadrati sono proporzionali le altezze di caduta, e comprenderemo come il Dottor Mayer, uno dei fondatori della nuova teoria del calore, abbia potuto pensare di riporre l'origine e la conservazione del calore solare in una pioggia di asteroidi di continuo cadenti sulla superficie del Sole.

Alcune osservazioni sul calore specifico.

235. Del calore comunicato ad un corpo una parte va spesa nell'allontanare le sue molecole, un'altra nell'accelerarne quelle vibrazioni molecolari da cui risulta la temperatura, ed una terza parte in fine nel rimuovere la pressione che riceve dal mezzo ambiente. Le due prime parti rappresentano il *lavoro interno* del calore, la terza esprime il suo *lavoro esterno*. Queste tre parti, in quanto che vengono assorbite dall'unità di massa del corpo per ac-

crescere la sua temperatura di un grado, costituiscono ciò che si denomina *calore specifico*.

È chiaro che il solo lavoro interno per l'unità di temperatura e di massa costituisce il vero calore specifico di un corpo; ma la dilatazione, ch'è piccola nei solidi e nei liquidi, fa che per essi sia piccolo ancora il lavoro esterno, e che in conseguenza il valore sperimentale del calore specifico possa riguardarsi come l'equivalente del solo lavoro interno.

Rispetto agli aeriformi poi la cosa è assai diversa. Prendendo ad esempio il calore specifico dell'idrogeno rispetto all'acqua, si è trovato l'enorme valore 3,409 che non si è ottenuto per verun altro corpo. Ma considerando che l'idrogeno per essere egualmente pesante che l'acqua, deve avere un volume 11164 volte più grande, e che in conseguenza per dilatarsi di $\frac{1}{273}$ deve eseguire un considerevole lavoro esterno, noi comprendiamo che il lavoro interno non può essere che piccola parte del numero 3,409, e che le capacità termiche degli aeriformi a masse eguali sono ben lontane dall'essere rappresentate dai loro valori sperimentali.

Perciò i fisici moderni hanno scelto non la massa ma il volume per termine di comparazione delle capacità termiche degli aeriformi; e così facendo hanno trovato che i gas finora non liquefatti hanno uno stesso calore specifico, e lo hanno indipendente dalla temperatura. Questo risultamento è di grande importanza, imperocchè l'eguaglianza delle loro capacità termiche sotto eguali volumi, e quindi con eguali lavori esterni, richiede che sieno ancora eguali i loro lavori interni. Ma il lavoro interno, e l'abbiamo già detto, si compone del lavoro di vibrazione molecolare ossia di temperatura, e del lavoro di dilatazione. Quello di temperatura per ogni grado termometrico si accrescerà sempre di una stessa quantità, da qualunque punto della scala si cominci a contare, l'altro poi dovrà esser dipendente dalla temperatura iniziale, perchè n'è dipendente la mutua tendenza delle molecole. Se dunque questa tendenza esistesse in quei gas, le loro capacità termiche a volumi eguali dovrebbero dipendere dalla temperatura; ma l'esperienza ha dimostrato che ne sono

indipendenti; dunque tendenza tra le loro molecole non esiste, ed essi sono i soli corpi che facendone termometri, possono dare la vera misura del calore, quando le loro indicazioni siano corrette della dilatazione del vetro: e tale è il termometro ad aria.

VIII.

Applicazione delle teoriche precedenti ai fenomeni meteorologici.

La temperatura — I venti — L'umidità dell'aria — La nebbia e le nubi — La rugiada — La pioggia, la neve, la grandine.

La temperatura. 236. Nel n° 116 abbiamo veduto che la quantità di raggi che un elemento di superficie riceve da una sorgente luminosa, è proporzionale al coseno della loro incidenza. Questa legge è vera ancora pei raggi calorifici; e perciò il calore che la superficie terrestre riceve dal Sole è minima negl'istanti del sorgere dell'astro e del suo tramontare, e massima quando esso trovasi nel meridiano. Or l'incidenza meridiana è minima nel solstizio d'inverno e massima in quello di estate; e questa varia incidenza congiunta alla varia durata del Sole sull'orizzonte, è causa della diversa temperatura delle stagioni.

La superficie terrestre mentre riceve calore dal Sole, ne irradia nello spazio; e giunge al massimo grado di temperatura, quando l'azione solare, cominciata a decrescere, scende fino ad eguagliare la quantità di calore che la terra emette. Quindi si comprende perchè l'ora più calda del giorno sia posteriore al mezzodì, e perchè il giorno più caldo dell'anno venga dopo il 21 di Giugno. Per la stessa ragione l'epoca del massimo freddo è sempre posteriore a quella del solstizio d'inverno.

Gli strati superficiali della terra si compongono di sostanze che mal conducono il calore, e perciò le variazioni termiche prodotte dai raggi solari non possono giungere che a piccola profondità, e tanto più piccola quanto i cangiamenti termometrici della superficie sono meno intensi. Quindi le variazioni diurne penetrano meno delle

annue; e dove queste han termine, là comincia una temperatura costante, la quale per ogni 30 metri di ulteriore profondità si trova accresciuta di circa un grado. Ed è chiaro che il maggior calore degli strati più profondi non può derivare dall'azione del Sole, ma dev' essere un residuo di quello che la terra aveva nei primordii della sua formazione.

L'aria, come corpo diatermico (n° 224) non è riscaldata dall'azione diretta dei raggi solari, ma partecipa dei cangiamenti termici della superficie terrestre e si riscalda per convezione come l'acqua messa in un recipiente soprapposto ad un fornello. Ma se l'acqua salendo dal fondo del recipiente alla superficie di livello non si dilata per mancata pressione perchè quasi incompressibile, per l'opposto l'aria sollevandosi si dilata e coll' espansione si raffredda. Così la convezione presto si arresta, e l' aria delle regioni elevate rimane più fredda che quella delle valli e delle basse pianure.

Per farci una giusta idea dei cangiamenti di temperatura da un giorno all'altro, da un mese all'altro, da un anno all'altro, bisogna cercare le temperature medie del giorno, del mese, dell'anno. Per avere la temperatura media di un giorno, bisognerebbe osservare il termometro di ora in ora, addizionare le 24 temperature osservate, e dividere la somma per 24. Se in vece di questo metodo inattuabile, prendiamo la semisomma della massima e minima temperatura diurna, avremo un numero a sufficienza approssimato. Ottenute così le 30 medie diurne, ne faremo la somma, la divideremo per 30, ed avremo la temperatura media del mese; e similmente le medie dei dodici mesi ci daranno la media dell'anno.

E se immaginiamo uniti con una linea tutti i punti della superficie terrestre che hanno la stessa temperatura annua, avremo l'*isotermica* (linea di egual calore) corrispondente a quella temperatura. Così si hanno le isotermiche di $0^\circ,5^\circ,10^\circ$ ecc.; che realmente delineate sopra un planisfero, si troveranno assai divergenti dai paralleli geografici. La qual cosa dimostra che la temperatura di un luogo non dipende dalla sola azione dei raggi solari. Ed in fatti vi prendono non piccola parte — 1° L'altezza

del suolo, sapendosi che l'aria trovasi più fredda, come si va più in alto — 2° La vicinanza del mare, il quale riscaldandosi meno che la terra sotto l'azione dei raggi solari, e raffreddandosi anche meno nell'assenza del Sole, fa che nel rimescolarsi dell'aria sovrastante alle due regioni, le spiagge guadagnino calore nell'inverno e freschezza nell'estate — 3° Le montagne, in quanto che difendono il paese sottoposto dall'azione di alcuni venti — 4° La diversa forma dei due continenti. L'antico, molto esteso nella direzione di Est ad Ovest, riceve gran copia di calore dal Sole nel suo moto diurno, e poco ne disperde nella regione polare, perchè ivi è poco esteso; al contrario il nuovo continente sul cammino del Sole non presenta che una lingua di terra nell'istimo di Panama, mentre si espande molto nella sua parte settentrionale, e perciò soffre gran perdita di calore. Quindi è che ad eguale latitudine il nuovo continente è più freddo dell'antico.

Due paesi possono avere inverno egualmente rigido, o estate egualmente calda senza che avessero una stessa media annuale. Le linee che uniscono i punti della superficie terrestre di egual freddo invernale si dicono *isochimene*, e quelle che uniscono i punti di egual calore estivo si dicono *isotere*.

I venti. 237. I venti sono masse di aria messe in moto per disquilibrio avvenuto nell'atmosfera, sia in conseguenza di maggior dilatazione prodotta là dove il calore solare è stato più forte, sia dietro una pioggia dirotta che lasciando un vuoto per la rapida trasformazione del vapore in acqua, ha richiamata dal resto dell'atmosfera l'aria bisognevole a colmarlo. Alla prima cagione son dovute le *brezze* e gli *alisei*, e dalla seconda dipendono quei forti colpi di vento che sogliono accompagnare i rovesci di pioggia.

Le *brezze* sono venti proprii dei paesi marittimi, e si distinguono in *brezze di terra* e *brezze di mare*, secondo che il vento spira dalla terra o dal mare. La prima comincia quando per deficienza dell'azione solare l'aria sovrastante alla terra riesce più fredda di quella che sta sul mare; e la seconda poi sorge allorchè l'azione del

Sole fa che la superficie del mare sia meno calda che quella della terra. Nel primo caso l'aria muove dalla terra al mare, e nel secondo corre viceversa dal mare alla terra; e per questa diurna oscillazione si raddolcisce il clima dei paesi che stanno prossimi al mare.

Ciò che in piccolo avviene sopra ogni spiaggia, in grande si ripete nella regione dei tropici. Ivi l'aria dilatata pel contatto di un suolo infocato dai raggi solari, si eleva e per le alte regioni dell'atmosfera si riversa sulle zone polari, mentre da queste e rasentando il suolo un'aria fredda corre verso la regione equatoriale per appianare il vuoto ivi prodotto. Se la terra non avesse moto di rotazione, nelle basse regioni dell'atmosfera si avrebbe un vento continuo di Nord nell'emisfero boreale, ed un altro di Sud nell'australe; e viceversa avverrebbe nelle regioni superiori. Ma la rotazione del nostro globo comunicando all'aria soprapposta una celerità proporzionale al raggio del parallelo su cui si trova, fa che quella la quale corre dai poli all'equatore, vi giunga con ritardo di velocità, e perciò urtata da tutti i punti salienti della superficie terrestre, vi produce l'effetto di un vento continuo di Est che sotto il nome di *aliseo* realmente ivi si osserva; e che visto la prima volta dai compagni di Colombo, quando questi si dirigeva alla scoperta di un nuovo mondo, li riempì di spavento, come quello che rendeva impossibile il ritorno in patria. Per la stessa ragione nell'alto dell'atmosfera deve spirare un vento continuo di Ovest, che dei viaggiatori hanno trovato sul Picco di Teneriffa, e che le ceneri lanciate dai vulcani tropicali hanno messo in evidenza.

Nel vento si distingue la direzione e la forza. Questa è proporzionale alla velocità della colonna di aria, e può variare tra limiti assai estesi, dall'aura leggiera che appena scuote le foglie delle piante e che non corre un miglio geografico all'ora, fino all'uragano che schianta gli alberi ed abbatte gli edifizii, e ne fa più di ottanta. Gli apparecchi destinati a misurare la forza del vento si dicono *anemometri*, e d'ordinario consistono in ale di molinello, le quali col numero dei loro giri fanno conoscere la celerità del vento.

Gli strumenti poi addetti a far conoscere la direzione del vento si dicono *anemoscopii*, e tali sono le banderuole messe in cima ai campanili. Nelle regioni inaccessibili agli strumenti il moto delle nubi ci fa conoscere la direzione del vento.

I nomi, con cui si distinguono le varie direzioni dei venti, sono quelli dei punti dell'orizzonte dai quali spirano, e che si è stimato sufficiente limitarli a 32. Queste 32 direzioni formano la *rosa dei venti.*

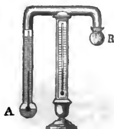
L'umidità dell'aria. 238. Nell'aria vi è sempre del vapore acqueo invisibile. Per averne la prova basterà versare dell'acqua fredda in un bicchiere: se ne vedrà tosto la faccia esterna coprirsi di un velo di rugiada, nascente dal vapore che si conteneva nella falda di aria contigua al vetro, e che pel freddo si è liquefatto ed in minute gocce si è deposto su quella superficie.

La maggiore o minore quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria, ne costituisce l'umidità. La quale può considerarsi, sia rispetto al suo valore assoluto, ossia alla quantità di acqua gassificata esistente in un dato volume di aria, sia rispetto alla quantità di vapore che nelle circostanze dell'osservazione quel volume di aria dovrebbe contenere per divenirne saturato; quindi la distinzione di *umidità assoluta*, ed *umidità relativa.* Così nell'estate l'aria ordinariamente contiene più vapore che nell'inverno, ma nella prima stagione essa è più lontana dall'esser saturata che nella seconda.

Gli strumenti destinali alla misura dell'umidità atmosferica si dicono *igrometri* (misuratori dell'umido). I primi ad essere adoperati si fondavano sulla proprietà che hanno alcuni corpi di assorbire l'umido atmosferico ed allungarsi; ed all'uopo furono adoperati i capelli, delle sottili strisce del così detto osso di balena, delle corde di minugia, ecc. Tutti questi corpi si allungano quando assorbono il vapore, e si accorciano quando ne perdono; e lo assorbono allorchè la loro attrazione per l'acqua si trova maggiore della tendenza di questo liquido a gassificarsi, e ne perdono nel caso contrario. Dimodochè questi *igrometri per assorbimento* non possono dare che un indeterminato *più o meno* dell'umidità relativa.

Fu poi inventata un'altra specie d'igrometri, i quali agiscono condensando il vapore atmosferico, e scopo della loro immediata indicazione è quello di definire la temperatura che dovrebbe avere l'aria perchè rimanesse saturata dal vapore che essa contiene. Di questa specie è l'igrometro inventato da Daniell; il quale si compone (*fig. 213*) di un tubo di vetro girato a modo di un U capovolto, e che finisce in due palline, l'una contenente etere con entro il bulbo di un piccolo termometro, l'altra è coperta di mussolina: vi è poi un secondo termometro fissato al sostegno del tubo, e che fa conoscere la temperatura dell'aria. Quando si vuol porre in opera l'istrumento, si comincia dal versare lentamente delle gocce di etere sulla mussolina finchè non si vegga appannata di rugiada l'altra pallina. Allora si leggerà la temperatura indicata dal termometro interno, raffreddato per l'evaporazione dell'etere, in cui pesca, divenuta più celere pel continuo condensamento del suo vapore nell'altta pallina, fatta più fredda dall'evaporazione esterna. Indi in una tavola, in cui sieno segnate le tensioni del vapore per una sufficiente estensione della scala termometrica, si cercherà quella corrispondente alla temperatura che si è letta sul termometro interno e che segna il grado di calore che dovrebbe aver l'aria perchè si trovasse saturata dal vapore che contiene. Quella tensione bisognerà correggerla, imperocchè il vapore nell'aria ha la temperatura del termometro esterno e non quella dell'interno; e fatta la correzione (1) il rapporto della tensione corretta alla ten-

fig. 213.



(1) La correzione consiste nel moltiplicare la tensione indicata nella tavola pel fratto $\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}$, nel quale α disegna il coefficiente di dilatazione del vapore, t la temperatura data dal termometro interno, t' quella dell'esterno.

sione che renderebbe saturata l'aria sotto la temperatura che essa possiede, esprimerà il grado di umidità che aveva nell'istante dell'osservazione.

Evvi una 3ª specie di questi strumenti, e sono gl'*igrometri per raffreddamento*, qual'è appunto il *psicrometro* di August. Questo apparecchio si compone di due termometri, l'uno con bulbo libero, l'altro con bulbo vestito di mussolina, la quale mercè alcuni filamenti della medesima sua natura, che pescano in un vasellino con acqua, rimane continuamente bagnata. Or la celerità dell'evaporazione, e quindi il grado di raffreddamento del termometro bagnato, dipende dalla quantità di vapore che si trova nello spazio ambiente i due termometri. Questa dipendenza è stata calcolata, e si sono costruite delle tavole nelle quali cercando il numero che rappresenta l'osservata differenza termometrica, si viene a conoscere qual sia il corrispondente grado di umidità.

La nebbia e le nubi.

239. Quando il vapore si trova sottoposto ad un raffreddamento maggiore di quello che lo renderebbe atto a saturare lo spazio in cui si trova, allora esso lascia di essere un fluido invisibile e si addensa in tanti piccoli globetti, che simili alle bolle di sapone non sono che un velo liquido voltato a sfera; tal'è quella specie di fumo che si eleva da un'acqua fortemente riscaldata, e che si osserva ancora nell'aria espirata dagli animali in un'ambiente freddo e non molto secco. Il vapore così trasformato ha ricevuto il nome di *vapore vescicolare*.

La *nebbia* non è che una massa di vapore vescicolare a contatto del suolo; e per la condizione determinante la formazione del vapore vescicolare comprendiamo perchè le nebbie abbondino nei luoghi paludosi, o che siano prossimi ai fiumi, ai laghi, ecc.; e perchè preferiscano l'autunno, nella quale stagione ad un forte calore diurno che riempie l'aria di vapore acqueo, sogliono seguire delle notti abbastanza fredde per cangiarlo in vescicolare.

Le *nubi* sono nebbie formate nelle alte regioni dell'atmosfera; e da questa identità di natura rileviamo la ragione per cui talvolta delle nubi si veggano diminuire a poco a poco fino a sparire del tutto, e perchè tal'altra un cielo sereno rapidamente si annuvoli. Nel primo caso

una corrente di aria calda ha fatto ritornare il vapore vescicolare ad invisibile, e nel secondo viceversa il vapore invisibile si è trasformato in vescicolare per contatto di aria fredda.

Le nubi assumono forme assai diverse, ma che si possono ridurre ai tre generi: *cirro, strato e cumulo. Il cirro* si presenta sotto forma di un pennacchio biancastro, o come filamenti ricciuti, o infine come una semplice rete. Le nubi di questa specie sogliono occupare le regioni più alte dell'atmosfera: il viaggiatore le vede dalle sommità dei monti come dal fondo delle valli. E per l'intenso freddo che regna nelle alte regioni occupate dai cirri, è quasi certo che questi nubi ordinariamente son composte di particelle di neve. — *Lo strato* è una zona di vapore vescicolare, chiusa tra piani orizzontali. Queste nubi sogliono formarsi al cadere di un sereno giorno estivo, e spariscono al nuovo levarsi del sole — Il *cumulo* nella forma più semplice somiglia un emisfero poggiato sopra un piano orizzontale. Sovente se ne uniscono molti e formano quelle masse nuvolose che si elevano sull'orizzonte a guisa di montagne. Queste nubi nascono dai vapori trasportati in alto dalle correnti ascendenti dell'aria, e perciò si mostrano basse nelle prime ore del mattino, si elevano verso il mezzogiorno, e poi scendono di nuovo all'avvicinarsi della sera.

240. Nelle notti calme e serene, specialmente di autunno, l'erbe, i figli di paglia, ecc. sparsi sul suolo, si coprono di piccole gocce di acqua, prodotte dalla liquefazione del vapore atmosferico, e propriamente di quello che trovasi nelle falde di aria che stanno a contatto del corpo irrorato; imperocchè una pianta difesa da campana di vetro se ne copre quanto un'altra che sta all'aperto, e la campana stessa ha più rugiada sulla faccia interna che sull'esterna. **La rugiada.**

Il fatto notissimo del bicchiere che si copre di rugiada sulla faccia esterna quando vi è versata dell'acqna più fredda del mezzo ambiente, dimostra che ogni corpo irrorato ha dovuto divenire più freddo dell'aria circonfusa; in conseguenza se la rugiada vuole un cielo sereno e manca quando la notte è nuvolosa, bisognerà dire che nel primo caso i corpi possono raffreddarsi e nel secondo nol possono.

Dietro queste considerazioni è chiaro che la rugiada sia una conseguenza del raffreddamento che i corpi patiscono irradiando il loro calore verso gli spazii celesti, e che l'aria come diatermica lascia passare liberamente. E più freddi diverrebbero ancora, se il vapore acqueo quasi sempre sparso nell'aria, non fosse, come oggi è noto, perfettamente opaco pei raggi calorifici. Donde poi si rileva la ragione per cui negli aridi deserti ad un calore diurno soffocante segua una notte assai fredda.

Tenendo esposto di notte un termometro all'aria libera, si è più volte osservato che il passaggio di una nube per lo zenit lo ha fatto salire di qualche grado; e lo stesso effetto si è ottenuto distendendo un panno sul termometro. Quindi comprendiamo perchè un cielo nuvoloso impedisca la formazione della rugiada, e perchè una stuoja messa sopra una pianta delicata la preservi dalla gelata.

Quando la notte è favorevole alla formazione della rugiada, questa comincia a mostrarsi sulle foglie delle piante assai basse, indi apparisce su quelle delle piante più elevate, ma giammai si è fatta vedere sulle foglie degli alberi di alto fusto. Era questa una grave obbiezione contro la teoria che fa dipendere la formazione della rugiada dall'irradiazione notturna, imperocchè le foglie degli alberi di alto fusto meglio che quelle delle piante basse possono irradiare il loro calore verso il cielo.

Il celebre Melloni con una serie di ricerche si fece a chiarire questa difficile quistione, e pervenne al risultamento che il raffreddarsi dell'aria circonfusa alle foglie e ad altri corpi di piccola spessezza, avvenga per convezione di calore dal suolo ad essi mercè un moto verticoso dell'aria interposta; il quale moto verticoso tanto più presto arriva a raffreddare l'aria oltre il punto di saturazione, per quanto è minore la distanza della foglia dal suolo. Quindi è che la rugiada ascende come la notte progredisce, ma che non giunge a trovarla abbastanza lunga per arrivare sulle foglie degli alberi di alto fusto (1).

---

(1) La natura di quest'opera non ci ha permesso che accennare la stupenda teoria del Melloni sulla rugiada. Il lettore che ne volesse un adeguato sviluppo lo troverebbe nei miei *Elementi di Fisica*, 3.ª ed. pag. 675 a 680.

241. Se un certo grado di raffreddamento fa che il vapore invisibile si trasformi in vescicolare, un raffreddamento maggiore lo cangerà in liquido e si avrà la pioggia, la quale avviene sempre che una corrente di aria carica di vapore ne incontra un'altra più fredda. Così nella regione dei tropici, in cui le piogge si succedono con tale regolarità di periodo da far distinguere l'anno in due sole stagioni, la *piovosa* e la *secca*, la caduta delle acque non avviene se non quando il sole passa per lo zenit del luogo e nell'ora in cui ci passa. Vale a dire che ivi le pioggie si producono quando l'azione solare è più forte, ed in conseguenza più celere la corrente ascendente dell'aria e più copiosa la massa di vapore trasportata nelle fredde regioni dell'atmosfera: donde poi si rileva perchè le gocce di pioggia ivi siano più grandi e più numerose che in ogni altra contrada. La pioggia, la neve, la grandine.

Fatti consimili ci presentano le zone temperate. I vapori del Mediterraneo alimentano le piogge dell'Europa meridionale, come quelli dell'Atlantico fanno rispetto all'Europa occidentale. Or questi vapori potendo nella stagione estiva elevarsi a maggiori altezze prima di mutarsi in vescicolari, non sono arrestati dalle catene di monti, e vanno a risolversi in pioggia nell'Europa centrale ed anche nella settentrionale; al contrario d'inverno le spiagge che incontrano, sono abbastanza fredde per mutarli rapidamente in vapori vescicolari e quindi in pioggia. Perciò questa abbonda d'inverno nell'Europa occidentale e nella meridionale e vi è scarsa di estate, ed il contrario avviene nell'Europa centrale e nella settentrionale. Così a Pietroburgo, a modo di esempio, di estate cade una quantità di pioggia due volte e mezzo più grande di quella che anche sotto forma di neve vi cade d'inverno.

Per determinare la quantità di pioggia che annualmente cade in un dato luogo, ci adoperano strumenti, denominati *pluviometri*, che d'ordinario consistono in vasi cilindrici terminati da un fondo conico, che immette in un sottoposto recipiente ben chiuso perchè l'acqua che vi si raccoglie, non vada in parte dispersa per evaporazione: quell'acqua poi si fa passare in tubo graduato di cristallo per misurarne l'altezza, la quale divisa pel rapporto del-

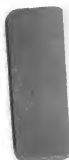
l'area di sezione del cilindro a quella del tubo, farà conoscere la quantità di pioggia caduta sul luogo del pluviametro.

Dalla congelazione del vapore vescicolare si ha la *neve*, bianca opaca molle, e dalla congelazione dell'acqua si ha il *ghiaccio* ch'è limpido e duro. La neve cade lentamente, perchè sotto piccola spessezza presenta una larga superficie alla resistenza dell'aria; e per la lentezza del suo moto può ricevere calore dagli strati di aria che attraversa, e può liquefarsi prima di toccare il suolo. Così nei climi dolci non di rado d'inverno avviene che quella stessa precipitazione di vapori che cade come pioggia sulla pianura, copre di neve le vicine montagne.

La vera *grandine* si compone di pezzi di ghiaccio che d'ordinario hanno un nucleo nevoso. I suoi grani raggiungono talvolta una straordinaria grandezza, giacchè se ne sono veduti dei grossi come un uovo di pollo e di più grandi ancora. La loro caduta suol esser preceduta da un rumore secco, e talvolta così forte da coprire quello del tuono. Come una sì prodigiosa quantità di ghiaccio (che non di rado n'è caduta tanta da coprire grande estensione di terreno) possa di estate prodursi nell'atmosfera, è cosa che la scienza non ha potuto finora chiarire in un modo del tutto soddisfacente.

FINE.







2.

Presso la stessa Libreria

LEGENDRE (A. M.) ELEMENTI DI GEOMETRIA con giunte e modificazioni di A. BLANCHET, 1 vol. in 8.° picc. rilegato all'inglese . . . . . L. 4:00

SERRET (J. A.) ELEMENTI DI ARITMETICA tradotti ed annotati dal D.r R. [illegible], 1 vol. in 8.° picc. rilegato all' inglese . . . . L. [illegible]:00

DUSSIEUX (L.) CORSO DI GEOGRAFIA politica e fisica, 1 vol. in 8.° picc. rilegato all' inglese . . . . [illegible] 2:50